



DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAXXX	AA	NNNN	NN
9K	-	-	-	-	-	HG	RB	0002	00

Titel der Unterlage Hydrochemie der Tiefenwässer aus der Grube Konrad (HY 16, 17, 18)							Seite I		
Ifd. Nr. 248							Stand Dez. 1988		
Ersteller BGR							Textnummer		

Stempelfeld

PSP-Element TP 2: 9K/21223

zu Plan-Kapitel: 3.1.9

PL [Redacted]

14/02/89

Freigabe für Behörden

PL [Redacted]

14/02/89

Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.



REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AAANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9K	-	-	-	-	-	HG	RB	0002	00

Titel der Unterlage: Hydrochemie der Tiefenwässer aus der Grube Konrad (HY 16, 17, 18) lfd. Nr. 248	Seite II Stand Dez. 1988
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad
Hydrochemie der Tiefenwässer aus der Grube Konrad

Sachbearbeiter:



Datum:

Dezember 1988

Archiv.-Nr.:

104 422

Tagebuch-Nr.:

12 770/88

TK 25:

3828

<u>Inhaltsverzeichnis</u>		Seite
	Verzeichnis der Abbildungen	II
	Verzeichnis der Tabellen	IV
	Verzeichnis des Anhanges	IV
0	Zusammenfassung	V
1	Einleitung	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Fachliche Grundlagen	1
2	Datenbasis	4
3	Hydrochemische Charakterisierung der Wässer	5
3.1	Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung von Wässern	5
3.2	Haupt- und Nebenbestandteile	13
3.3	Spurenelemente	25
3.3.1	Strontium	25
3.3.2	Lithium	27
3.3.3	Rubidium	29
3.3.4	Bor	30
3.3.5	Iodid	32
3.3.6	Bromid	33
3.4	Methanhaltige Gase	36
4	Isotopenuntersuchungen	38
4.1	Altersbestimmungen	38
4.2	Stabile Isotope	38
4.2.1	Schwefel-34	38
4.2.2	Deuterium und Sauerstoff-18	44
5	Zusammenfassende Diskussion im Hinblick auf die Genese der Wässer aus der Grube Konrad	52
6	Literaturverzeichnis	56

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
HANNOVER

Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad
Hydrochemie der Tiefenwässer aus der Grube Konrad

Sachbearbeiter:	
Datum:	Dezember 1988
Archiv.-Nr.:	104 422
Tagebuch-Nr.:	12 770/88
TK 25:	3828

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	II
Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis des Anhanges	IV
0 Zusammenfassung	V
1 Einleitung	1
1.1 Veranlassung	1
1.2 Fachliche Grundlagen	1
2 Datenbasis	4
3 Hydrochemische Charakterisierung der Wässer	5
3.1 Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung von Wässern	5
3.2 Haupt- und Nebenbestandteile	13
3.3 Spurenelemente	25
3.3.1 Strontium	25
3.3.2 Lithium	27
3.3.3 Rubidium	29
3.3.4 Bor	30
3.3.5 Iodid	32
3.3.6 Bromid	33
3.4 Methanhaltige Gase	36
4 Isotopenuntersuchungen	38
4.1 Altersbestimmungen	38
4.2 Stabile Isotope	38
4.2.1 Schwefel-34	38
4.2.2 Deuterium und Sauerstoff-18	44
5 Zusammenfassende Diskussion im Hinblick auf die Genese der Wässer aus der Grube Konrad	52
6 Literaturverzeichnis	56

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Ort 300: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	7
Abb. 2:	Ort 410N: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	8
Abb. 3:	Ort 660A: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	9
Abb. 4:	Ort 660A, Brl. 6/3: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	10
Abb. 5:	Ort 660A, Brl. 6/6: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	11
Abb. 6:	Ort 660A, Brl. 6/7: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers	12
Abb. 7:	Beziehung zwischen Teufenlage des Zuflusses und Lösungsinhalt der Konrad-Wässer	13
Abb. 8:	PIPER-Diagramm; Ionenzusammensetzung der Konrad-Wässer	14
Abb. 9:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Natrium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	15
Abb. 10:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Calcium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	16
Abb. 11:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Magnesium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	17
Abb. 12:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Kalium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	18
Abb. 13:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Sulfat/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	19
Abb. 14:	Beziehung zwischen Calcium und Sulfat	21
Abb. 15:	Beziehung zwischen Strontium und Sulfat	22

Abb. 16:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Hydrogenkarbonat/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	24
Abb. 17:	Beziehung zwischen pH-Wert und Lösungsinhalt der Wässer	25
Abb. 18:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Strontium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	26
Abb. 19:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Lithium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	28
Abb. 20:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Rubidium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	30
Abb. 21:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Bor/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	31
Abb. 22:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Jodid/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	32
Abb. 23:	Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Bromid/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer	35
Abb. 24	Delta S-34-Werte von Sulfat des Meerwassers im Verlauf der Erdschichte (nach NIELSEN & RAMBOW 1969)	39
Abb. 25:	Beziehung zwischen delta S-34 und delta 0-18 des Sulfat von Wässern der Grube Konrad und sulfatischen Evaporiten	42
Abb. 26:	Beziehung zwischen delta S-34 und Sulfat aus Wässern der Grube Konrad	43
Abb. 27:	Deuterium und 0-18 aus Wässern der Grube Konrad	45

Verzeichnis der Tabellen

Seite

Tabelle 1:	Gaszusammensetzung von Proben aus dem Ort 300 und den Cornbrash-Bohrungen am Schacht II der Grube Konrad	36
------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Verzeichnis des Anhanges

Anhang 1:	Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad	59
Anhang 2:	██████████ (1988): Bericht über Isotopenuntersuchungen an Proben der Grube Konrad. - 7 S., unveröff. Ber., BGR, Arch.-Nr. 104 433, Hannover.	68

0 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht gibt eine zusammenfassende Interpretation von hydrochemischen Untersuchungen an Wässern aus der Grube Konrad, die durch die GSF im Rahmen der Eignungsuntersuchungen der Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle durchgeführt wurden.

Die Wässer der Grube Konrad sind hochversalzene Tiefenwässer, deren Lösungsinhalt innerhalb der Grube von 160 g/l in 640 m Tiefe bis auf 220 g/l in 1300 m Tiefe kontinuierlich ansteigt.

Dominierender Hauptbestandteil der Anionen mit Gehalten von mehr als 99 meq-% ist Chlorid, während sowohl Sulfat, bedingt durch bakteriell gesteuerten Sulfatabbau und durch Ausfällung schwerlöslicher Sulfate, als auch Karbonat Spurenstoffe sind.

Die Wässer sind typische Calcium-Chlorid-Ausstauschwässer, deren hohe Gehalte an Calcium überschüssigen Chlorid-Ionen gegenüberstehen.

Adsorption und diagenetische Mineralneubildungen führten zur Abreicherung von Kalium und Magnesium, während Strontium durch die Umbildung von Aragonit zu Calcit im Frühstadium der Diagenese angereichert wurde.

Bedingt durch den Abbau organischer Substanz kam es zur Anreicherung von Jodid in den Wässern.

Überwiegend auf Bakterientätigkeit geht die Methanführung einzelner Wässer zurück. Daneben enthalten diese Gase in geringen Anteilen Stickstoff, Kohlendioxid und auch thermisch gebildetes Methan.

Lithium ist in den Wässern im Vergleich zu Meerwasser angereichert, während Bor geringfügig abgereichert ist. Vermutlich wurden die Konzentrationen dieser Ionen sekundär durch Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gesteinsmatrix verändert.

Das Äquivalentverhältnis Bromid/Chlorid liegt im Hilssandstein im Hangenden der Grube geringfügig niedriger, in den Korallenoolith-Wässern deutlich höher als im Meerwasser, wobei die Bromidgehalte mit zunehmendem Lösungsinhalt der Wässer relativ zu Chlorid ansteigen.

C-14-Messungen an Wässern der Grube ergaben anfänglich Gehalte von bis zu 5 %-modern. Durch Wiederholungsmessungen und Blank-Versuche konnte die C-14-Freiheit der Wässer nachgewiesen werden.

Hohe Gehalte an radiogenem Helium deuten auf ein hohes Alter der Wässer in der Größenordnung von 20 Millionen Jahren hin.

Messungen der Schwefel-34-Gehalte des Sulfatschwefels können keine Hinweise auf Genese und Herkunft der Wässer geben, da die Schwefelisotopenzusammensetzung durch bakteriell gesteuerten Sulfatabbau sekundär verändert wurde.

Die Sauerstoff-18- und Deuterium-Messungen zeigen, daß die Wässer infolge von Isotopenaustausch zwischen Wasser und Gesteinsmatrix durchgängig rechts der "Meteoric Water Line" liegen. Sie geben Hinweise darauf, daß die Konrad-Wässer nicht allein aus Meerwasser entstanden, sondern auch eine meteorische Komponente enthalten.

Es werden die verschiedenen Möglichkeiten der Genese der Wässer diskutiert. Zusammenfassend ergibt sich, daß Wässer der Grube Konrad marine, diagenetisch stark veränderte Porenwässer darstellen. Eine Zumischung geringer Anteile von Wässern abweichender Genese, auch von Ablaugungswässern meteorischer Herkunft kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Im Rahmen der Eignungsuntersuchungen der Schachtanlage Konrad als Endlager für radioaktive Abfälle wurden durch die GSF u.a. systematische Untersuchungen an Grubenwässern durchgeführt. Beprobte wurden alle im Grubengebäude austretenden Formationswässer, Wässer aus Pumpensümpfen und Träufelrinnen sowie bei Bohrungen zur Erkundung des Schachtausbaus zugelaufene Wässer.

Die Ergebnisse der in den Jahren 1984 bis 1985 durchgeführten Untersuchungen wurden durch GSF in den Ergänzenden Unterlagen LV 2219.05 AP 1 bis 6 dokumentiert und im Arbeitspaket 7 zusammenfassend interpretiert. Weitere Analysenergebnisse von Beprobungen aus den Jahren 1986 und 1987 sind ebenfalls von GSF als Zwischenbericht zum LV 3165.37 AP 1 vorgelegt worden.

Vom NLFb wurden weitere erläuternde Stellungnahmen zu diesen Berichten nachgefordert (Nachforderungen HY 16, HY 17, HY 18). Der vorliegende Bericht nimmt dazu Stellung.

1.2 Fachliche Grundlagen

Die Wässer der Grube Konrad sind hochversalzene Tiefenwässer mit einem 5- bis 6-fach höheren Salzgehalt als das Meerwasser.

Abgesehen von den oberflächennahen Lockersedimenten des Tertiär und Quartär sowie des Wealden, das in unmittelbarer Nähe der Grube nicht entwickelt ist, wurden die Sedimente im Raum Konrad durchgängig im marinen Milieu abgelagert. Dabei kam es im Verlaufe des Perm und der Trias wiederholt zur Bildung mächtiger Evaporitfolgen, welche in anschließenden geologischen Perioden in zahlreichen Salzstrukturen akkumulierten.

Untersuchungen an hochsalinen Tiefenwässern ähnlich strukturierter Sedimentationsräume (vgl. z.B. [REDACTED] 1986) zeigten, daß diese Wässer verschiedenen genetischen Ursprungs sein können. Im wesentlichen lassen sich 4 Wassertypen unterscheiden:

a) Marine Formationswässer ("Connate Waters")

Wässer dieses Typs entstanden bevorzugt aus marinen Porenwässern feinkörniger Sedimente mit einem anfänglich hohen Porenwassergehalt. Durch fortschreitende Kompaktion der Sedimente wurden diese Wässer ausgepreßt und bei der Passage durch die Sedimente in ihrer chemischen Zusammensetzung verändert. Als wesentlicher Grund für die Salzanreicherung wird angenommen, daß bestimmte Tone permeabel für Kationen, aber nicht für Anionen sind. Die zurückgehaltenen Anionen können auch Kationen am Weitertransport hindern, und so zu einer relativen Salzanreicherung in den Sedimenten führen. Dieser sog. Ionensiebeffekt wurde in Laborexperimente an niedrig mineralisierten Wässern nachgewiesen ([REDACTED] 1973; [REDACTED] et al. 1963). Typischerweise ist in Wässern dieser Genese eine stetige Zunahme des Salzgehaltes zur Teufe hin zu beobachten.

b) Ablaugungswässer

Als Ablaugungswässer werden i.a. Wässer meteorischen Ursprungs bezeichnet, welche durch Ablaugung von Evaporiten aufgesalzen wurden. In unmittelbarer Nähe von Salzstöcken handelt es sich meist um gesättigte NaCl-Lösungen. In tiefen Sedimentbecken können diese Wässer auch deutlich untersättigt an NaCl sein, und eine wesentlich komplexere chemische Zusammensetzung haben.

c) Restlaugen

Aus dem Norddeutschen Sedimentbecken der DDR wird ein Typus von Tiefenwässern beschrieben, die aufgrund charakteristischer Elementzusammensetzungen als evaporitische Restlaugen eingestuft werden (■■■■■ 1969). Diese gesättigten Salzlaugen treten vorwiegend in der Trias und im Liegenden des Zechstein auf.

d) Mischwässer

Unter dem Begriff der Mischwässer werden hier alle Salzwässer zusammengefaßt, die durch Mischungen der Wassertypen a) bis c) entstanden.

Ziel dieses Berichtes ist es, die Wässer der Grube Konrad anhand ihrer Zusammensetzung an Haupt- und Nebenbestandteilen sowie relevanter Spurenelemente und Umweltisotope zu charakterisieren und - soweit vorhanden- Unterschiede zwischen einzelnen Wassertypen herauszuarbeiten.

Aufbauend auf diese geochemische Charakteristik der Wässer werden verschiedene Möglichkeiten der Genese aufgezeigt und soweit als möglich eingeeengt.

2 Datenbasis

Im Rahmen des noch laufenden Untersuchungsprogrammes der GSF wurden bisher 107 Wasseranalysen von Formationswässern aus der Grube Konrad in den obengenannten Berichten dokumentiert.

Bei 8 dieser Analysen handelt es sich um Wässer, die in der Grube Konrad einem kontrollierten Eindampfungsversuch unterzogen wurden. Diese Analysen werden im weiteren nicht berücksichtigt, ebensowenig wie tritiumhaltige Proben, für die eine Beimischung von Betriebs- oder Spülversatzwässern unterstellt werden kann (insgesamt 7 Proben), oder die aufgrund abnormal hoher (5 Proben) bzw. erniedrigter Lösungsinhalte als nicht repräsentativ eingestuft werden können. Diese Proben finden sich mit einer entsprechenden Kennzeichnung am Ende der tabellarischen Zusammenstellung der Analysen im Anhang des Berichtes.

Bei den verbleibenden 84 Proben handelt es sich, abgesehen von einer Probe aus dem Hilssandstein am Schacht II, sämtlich um Wässer aus dem Korallenoolith. An den insgesamt 17 Probenahmestellen konnte in 8 Fällen nur 1 Probe entnommen werden, weil die Zuflüsse innerhalb eines Tages versiegten. In allen anderen Fällen wurden Mehrfachbeprobungen (2 bis 22 Analysen) nach einem vorgegebenen Zeitschema (vgl. LV 2219.05 AP 7, S. 7) durchgeführt.

3 Hydrochemische Charakterisierung der Wässer

3.1 Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung von Wässern

Aus 6 Probenahmestellen, von denen Analysen über Zeiträume von 6 Monaten bis 3,5 Jahren vorliegen, wurden die Analysenwerte der Haupt- und wichtigsten Nebenbestandteile in Form von Zeitreihen aufgetragen (Abb. 1 bis 6). Es handelt sich hierbei um Wasserzutritte in den Orten 300, 410N und 660A.

Anhand dieser Diagramme soll zum einen die Frage diskutiert werden, inwieweit über längere Zeiträume hinweg Änderungen in der chemischen Zusammensetzung festzustellen sind, zum anderen näher auf Qualität und Belastbarkeit der Analyseergebnisse eingegangen werden.

Im Rahmen des Untersuchungsprogrammes der GSF wurden zur Qualitätskontrolle an einer Probe aus dem Ort 300 Vergleichsanalysen in 3 Wasserlabors durchgeführt, die mit der Analytik hochversalzener Wässer vertraut sind (vgl. LV 2219.05 AP 4, Tab. 79). Hierbei ergaben sich bei einer Reihe von Ionen z.T. erhebliche Abweichungen. Als unproblematisch erwies sich danach lediglich die Bestimmung von Na^+ und Cl^- sowie von Br^- mit Abweichungen von 5 bis 11 % zwischen den ermittelten Werten. Eine befriedigende Übereinstimmung mit Abweichungen von 15 bis 25 % ergab sich bei Ca^{++} , Sr^{++} und I^- , während bei Mg^{++} , Fe , SO_4^{--} und HCO_3^- Abweichungen um den Faktor 2 bis 3,5, bei BO_3^{---} , Ba^{++} und Al um mehr als 1 Größenordnung auftraten. Allerdings ist bei diesen Ionen häufig ein einzelner Wert als Ausreißer einzustufen, während die restlichen beiden Werte vergleichsweise geringe Abweichungen zeigen.

Insgesamt zeigen die Vergleichsanalysen, daß bei allen drei beteiligten Instituten die Analytik hochversalzener Wässer auf Schwierigkeiten stößt. Als unproblematisch erscheint

lediglich die Bestimmung der vorherrschend Hauptbestandteile, dagegen ist bei der Mehrzahl der Nebenbestandteile und Spurenelemente mit einer nicht unerheblichen Fehlerbreite zu rechnen, die bei der nachfolgenden Diskussion der Analyseergebnisse der Konrad-Wässer berücksichtigt werden muß.

Aus den Zeitreihen in den Abbildungen 1 bis 6 ergibt sich ein grundsätzlich ähnliches Bild. Geringe Bandbreiten zeigen sich - abgesehen von den noch anzusprechenden Ausreißern - bei Cl- und Na+ als vorherrschende Bestandteile und damit auch für den Lösungsinhalt der Wässer, sowie in eingeschränktem Maße bei Mg++ und Ca++. Durchweg größere Bandbreiten treten bei K+, Sr++, SO₄--und Br- auf.

Das Bild ist durchweg von sprunghaften Änderungen geprägt. Eine eindeutige Tendenz ist in keinem Fall zu erkennen. Aus unserer Sicht spiegeln die Zeitreihen daher eher die Bandbreite der Fehler in der Analytik wider, als daß es sich um reale Änderungen in der Zusammensetzung der Wässer handelt.

Als offensichtliche Probenahme- bzw. Analysefehler wurden die in den Abbildungen mit einem Kreis markierten Datenpunkte eingestuft. Es handelt sich um zwei ausgeprägte Minima für Ca++ und SO₄-- der am 03. und 05.05.1984 an den Bohrlöchern 6/3, 6/6 und 6/7 des Ortes 660A entnommenen Proben, um die Na+ und Cl-Bestimmungen der ersten Wasserprobe des Bohrloches 6/6 (Verunreinigung durch Bohrspülung ?) sowie um extreme Minima der Bromidgehalte des Wassers aus dem Ort 660A. Aus Gründen der Konsistenz sind diese Analysen in den nachfolgend diskutierten Darstellungen jedoch enthalten.

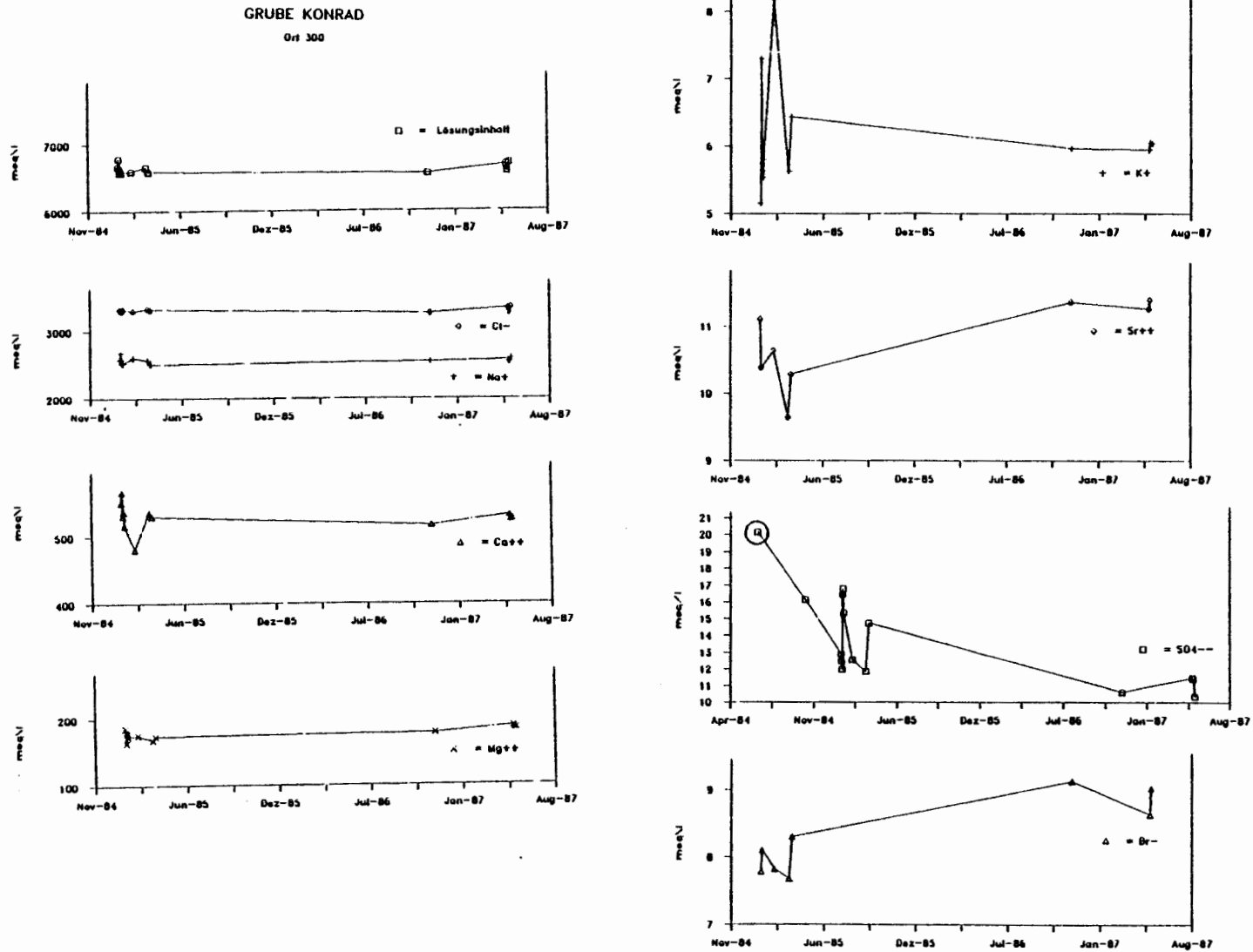


Abb. 1: Ort 300: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

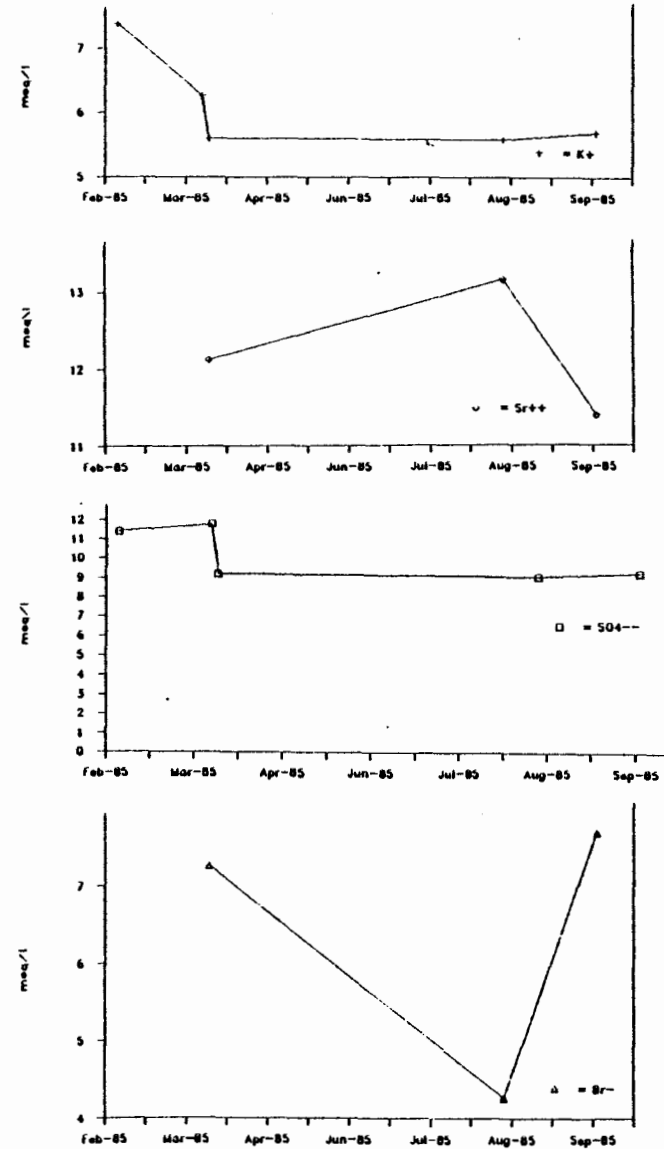
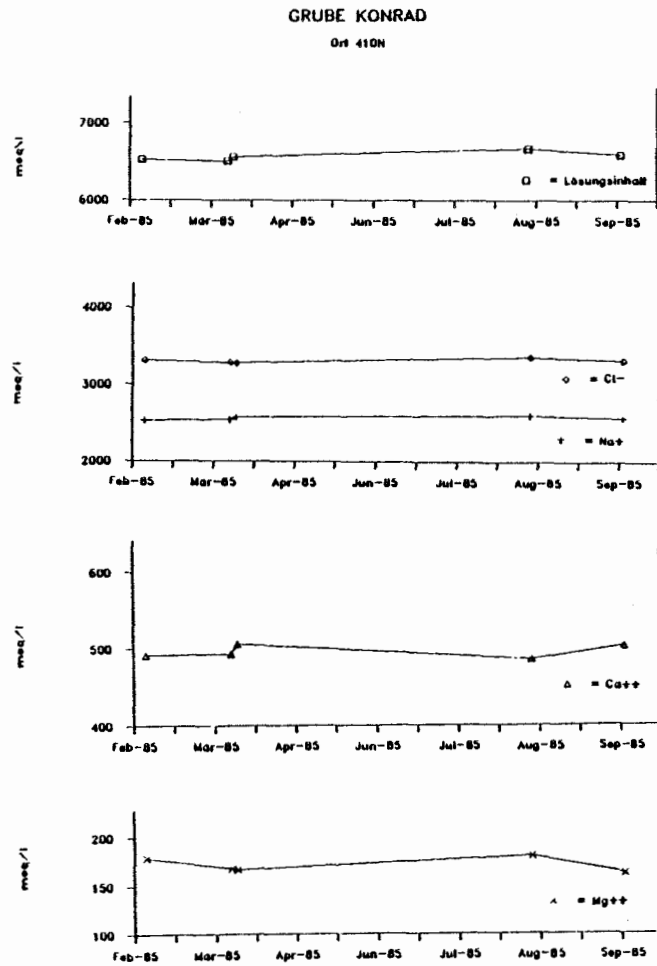


Abb. 2: Ort 410N: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

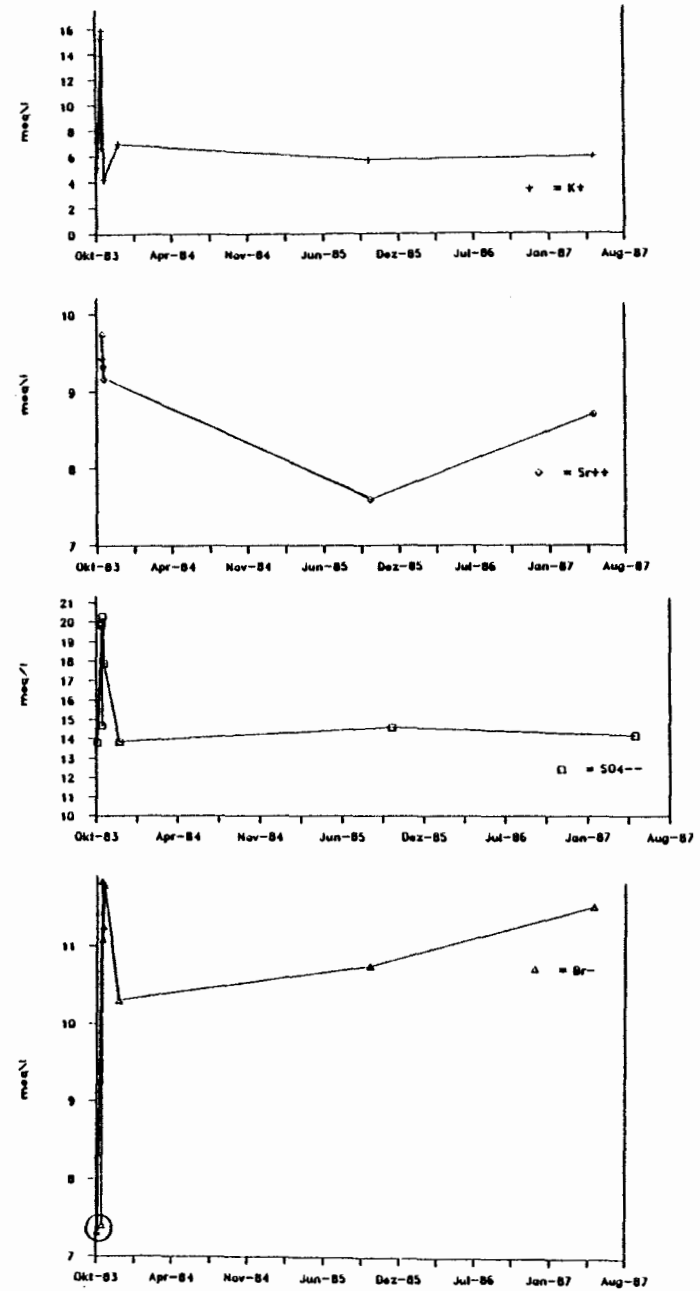
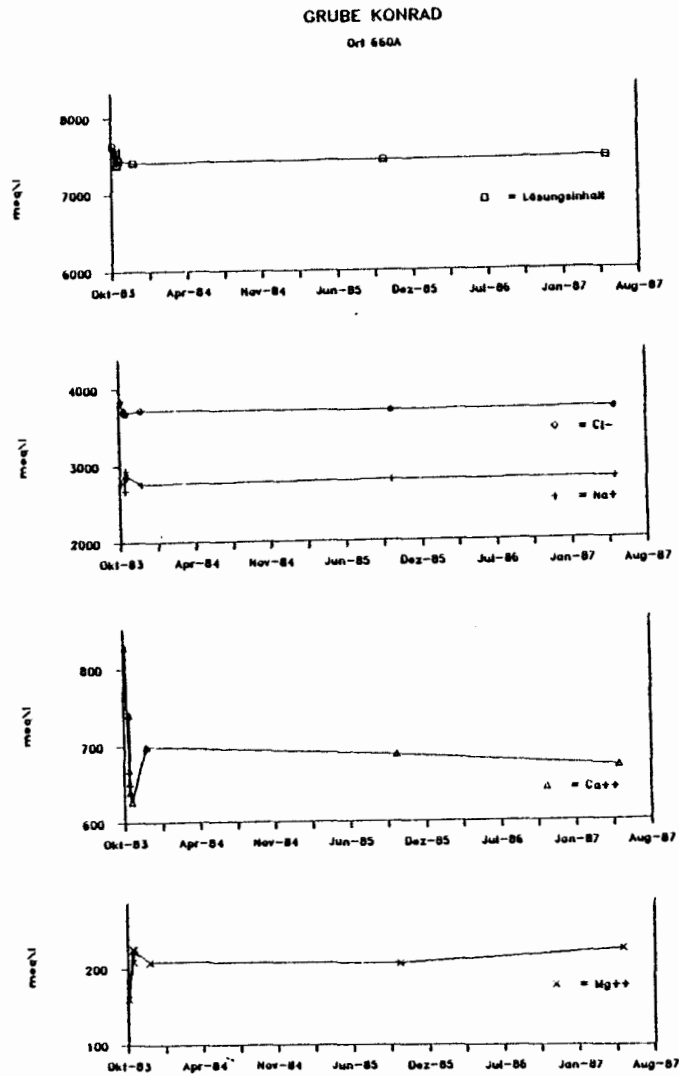


Abb. 3: Ort 660A: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

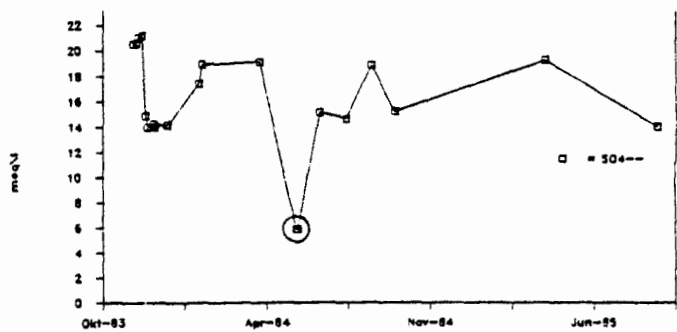
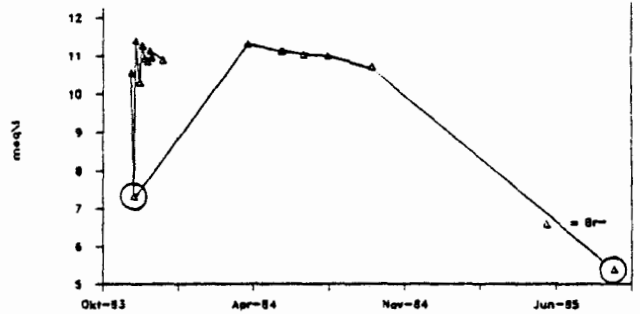
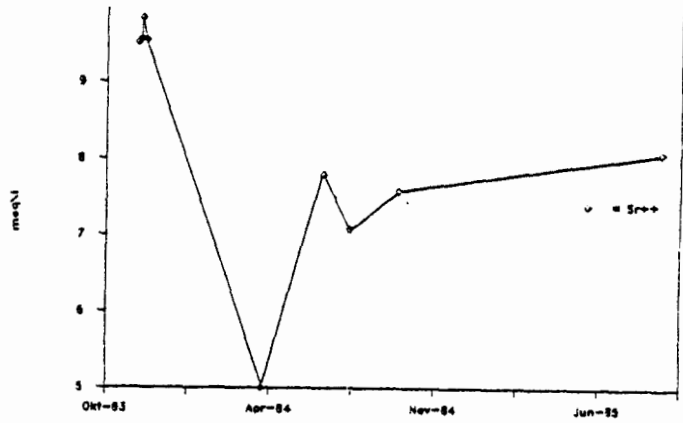
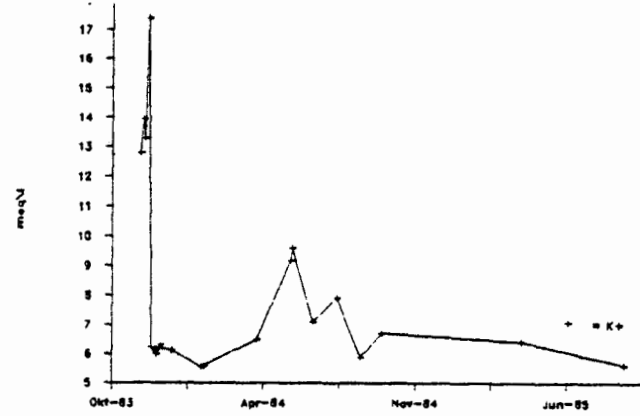
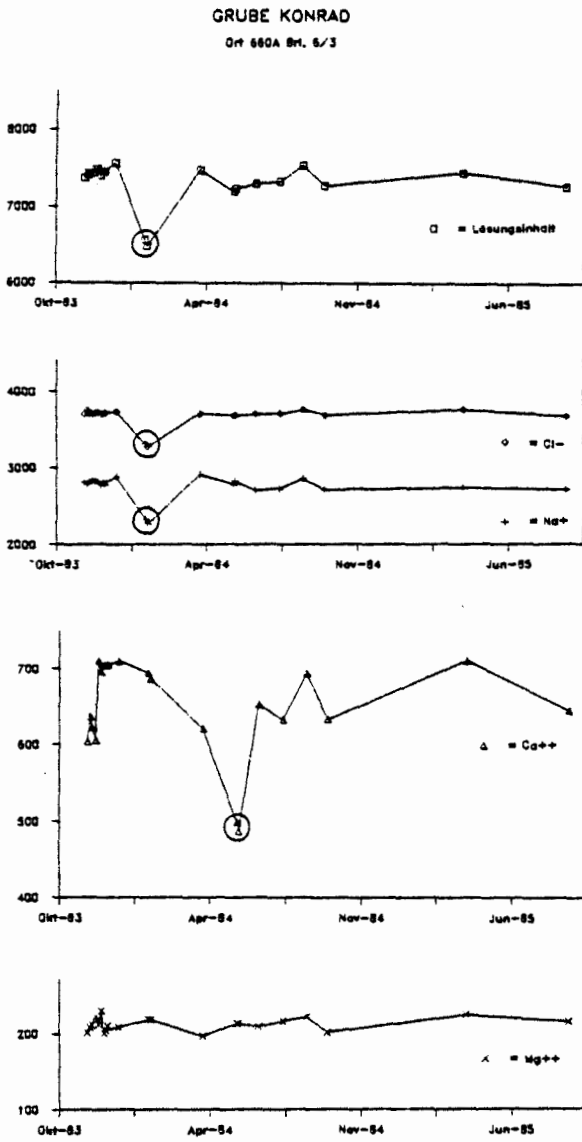


Abb. 4: Ort 660A, Brl. 6/3: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

GRUBE KONRAD
Ort 660A Brl. 6/6

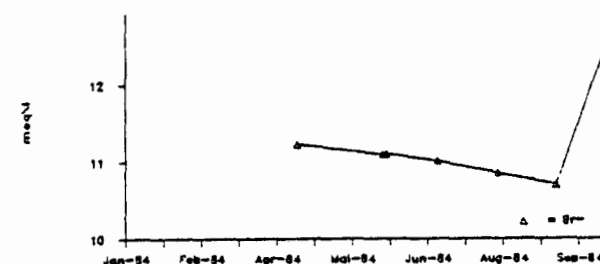
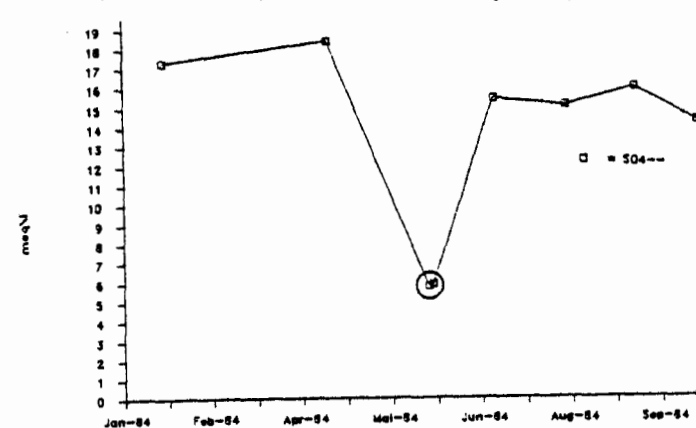
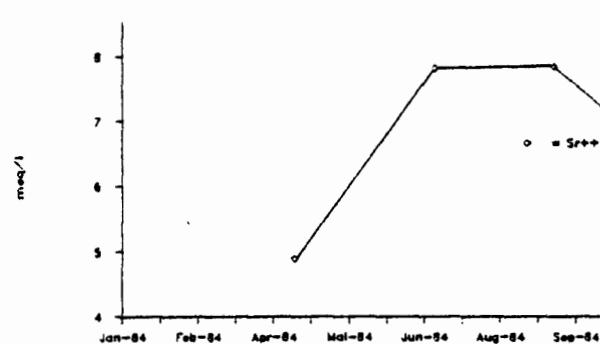
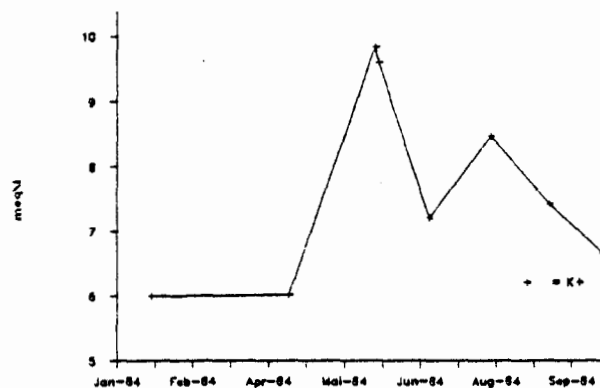
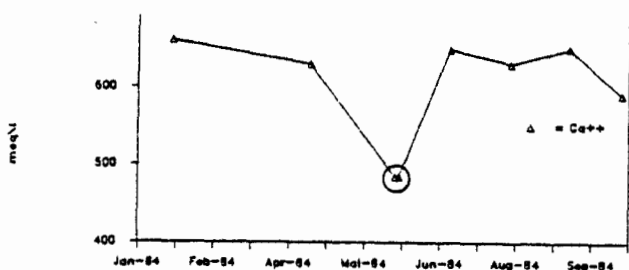
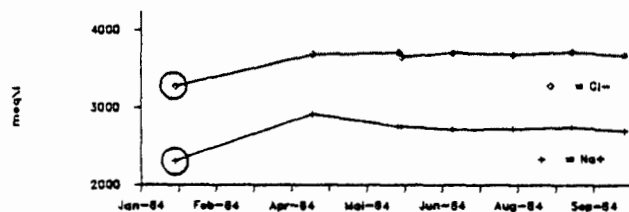
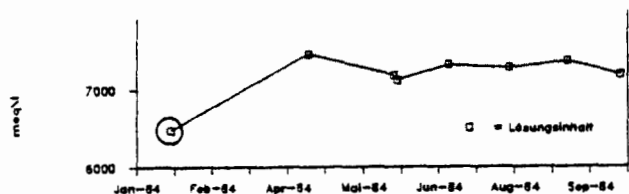


Abb. 5: Ort 660A, Brl. 6/6: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

GRUBE KONRAD
Ort 660A BrL6/7

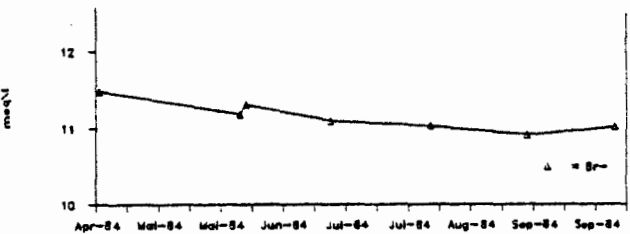
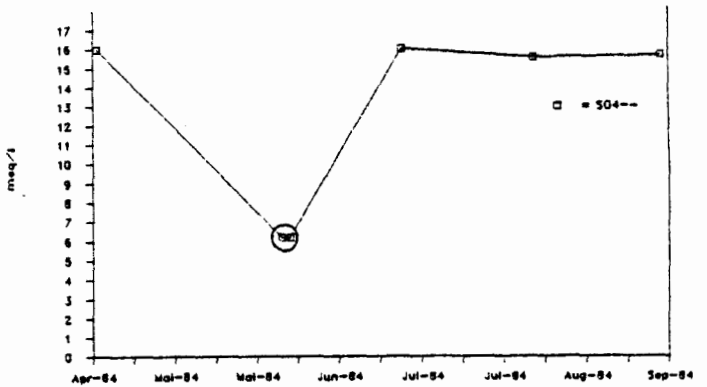
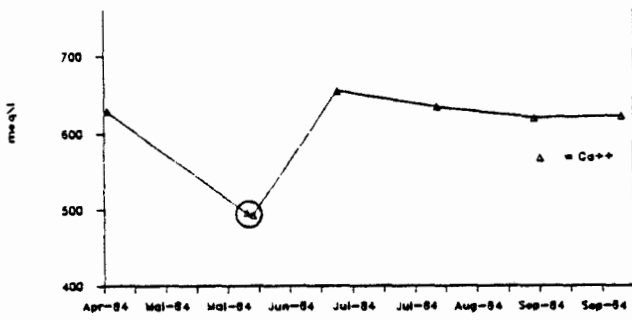
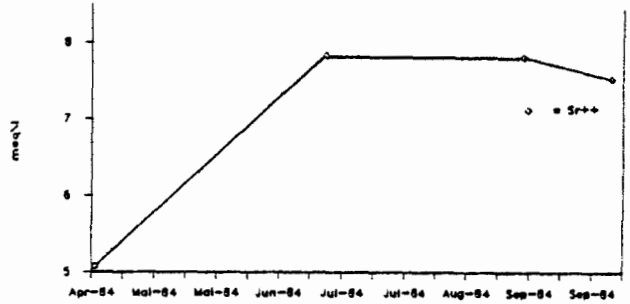
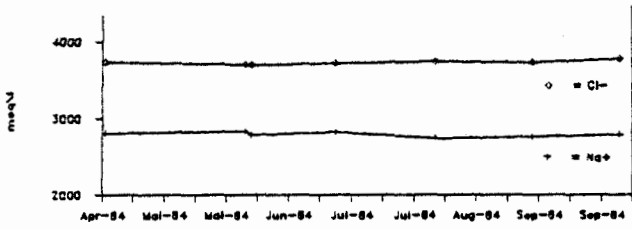
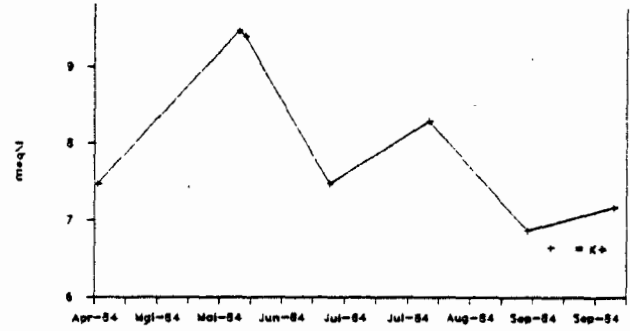
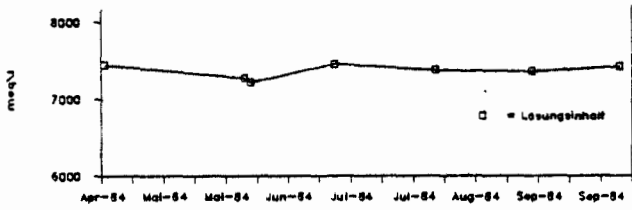


Abb. 6: Ort 660A, BrL. 6/7: Zeitliche Entwicklung der chemischen Zusammensetzung des Wassers

3.2 Haupt- und Nebenbestandteile

Lösungsinhalt

Die Formationswässer des Oxford der Grube Konrad haben je nach Entnahmetiefe Lösungsinhalte von 175 bis 220 g/l. Im Vergleich dazu weist das Wasser aus dem Hilssandstein am Schacht II mit 160 g/l einen geringfügig niedrigeren Salzgehalt auf. Die Lösungsinhalte liegen damit um den Faktor 5 bis 7 höher als im Meerwasser, erreichen andererseits aber nur einem Na-Cl-Sättigungsgrad von ca. 50 bis 70 %.

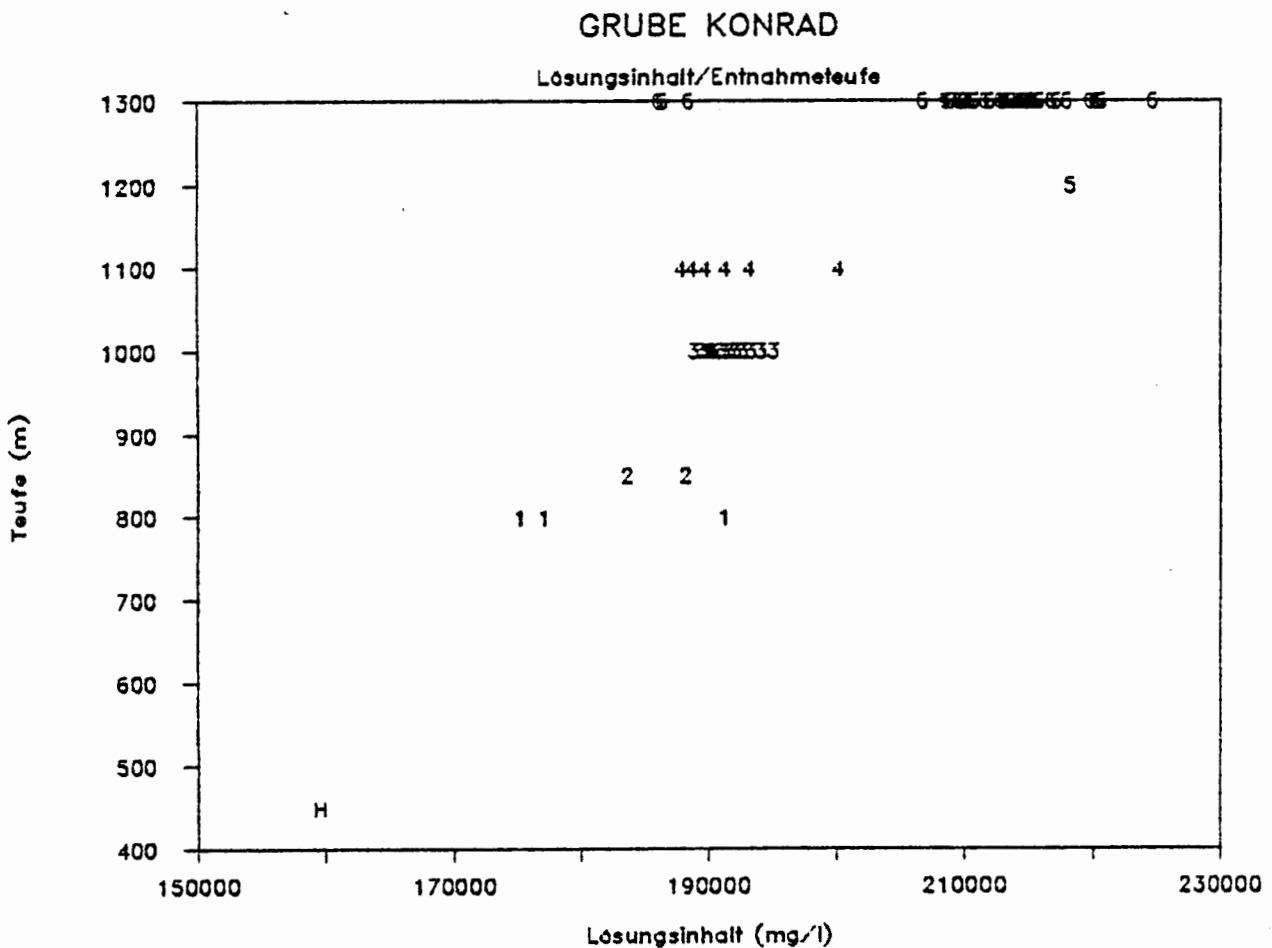


Abb.7: Beziehung zwischen Teufenlage des Zuflusses und Lösungsinhalt der Konrad-Wässer.
(In dieser sowie in allen folgenden Abbildungen entsprechen die Ziffern 1 bis 6 den entsprechenden Sohlen der Grube Konrad, auf der die Wasserzuflüsse auftraten; die Signatur H steht für die Wasserprobe aus dem Hilssandstein im Schacht II)

Aus Abbildung 7 geht hervor, daß in dem durch die Grube aufgeschlossenen Teufenbereich von 450 bis 1300 m unter Gelände der Salzgehalt näherungsweise linear zur Teufe hin ansteigt.

Wie in allen hochversalzenen Wässern sind Chlorid mit 99 meq-% und Natrium mit ca. 70 - 80 meq-% die vorherrschenden Bestandteile. Die Äquivalentgehalte von Calcium und Magnesium liegen bei 12 - ca. 20 bzw. 4 - 6 %. Die restlichen Bestandteile einschließlich des Sulfats und des Hydrogenkarbonats liegen unter einem meq-%. Die Wässer sind damit als Na-Cl bzw. als Na-Ca-Cl-Wässer einzustufen. Im Piper-Diagramm (Abb. 8) zeigt sich durchgängig eine außerordentlich geringe Schwankungsbreite in der Zusammensetzung, die keine weitergehende Differenzierung der Wässer anhand der Hauptbestandteile zuläßt.

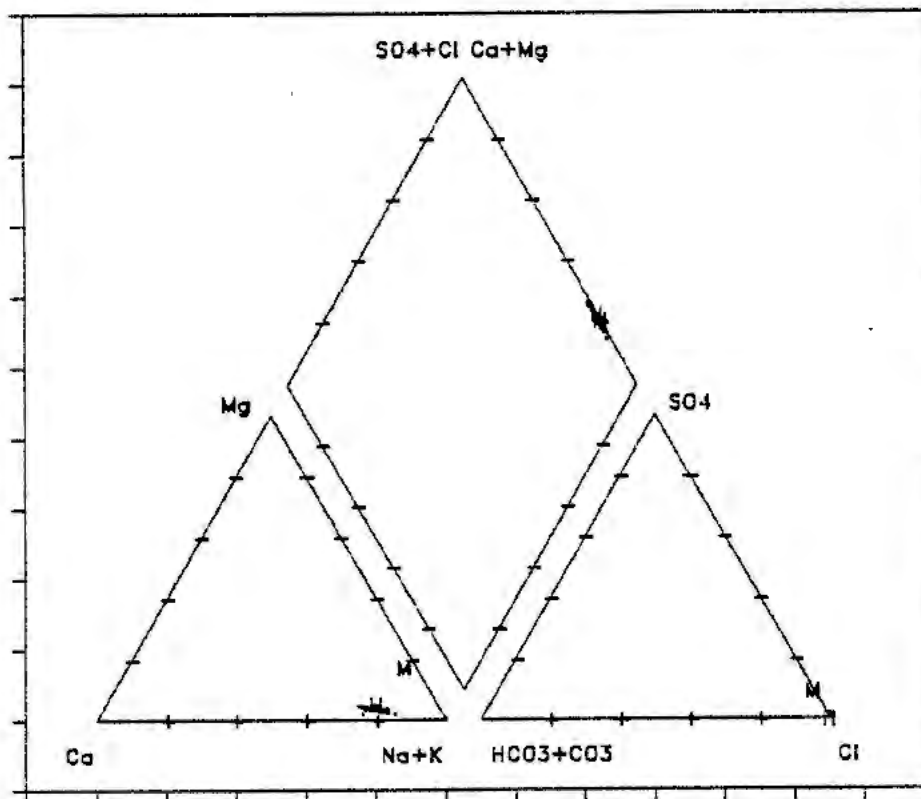


Abb. 8: PIPER-Diagramm; Ionenzusammensetzung der Konrad-Wässer.
(M = Meerwasser; Analysendaten nach [REDACTED] (1973).

Die weitere Charakterisierung erfolgt daher anhand von Diagrammen, in denen der Äquivalentquotient des jeweiligen Ions und Chlorid gegen den Lösungsinhalt der Wässer aufgetragen wird. Zu Vergleichszwecken ist in den Diagrammen der jeweilige Datenpunkt für das Meerwasser enthalten.

Der Äquivalentquotient Natrium/Chlorid der Wässer liegt zwischen 0,85 und 0,70, d.h. Natrium ist in den Wässern im Vergleich zu Chlorid um 15 bis 30 % abgereichert. Dabei erhöht sich das Defizit an Na⁺ in den Wässern mit steigendem Lösungsinhalt (Abb. 9).

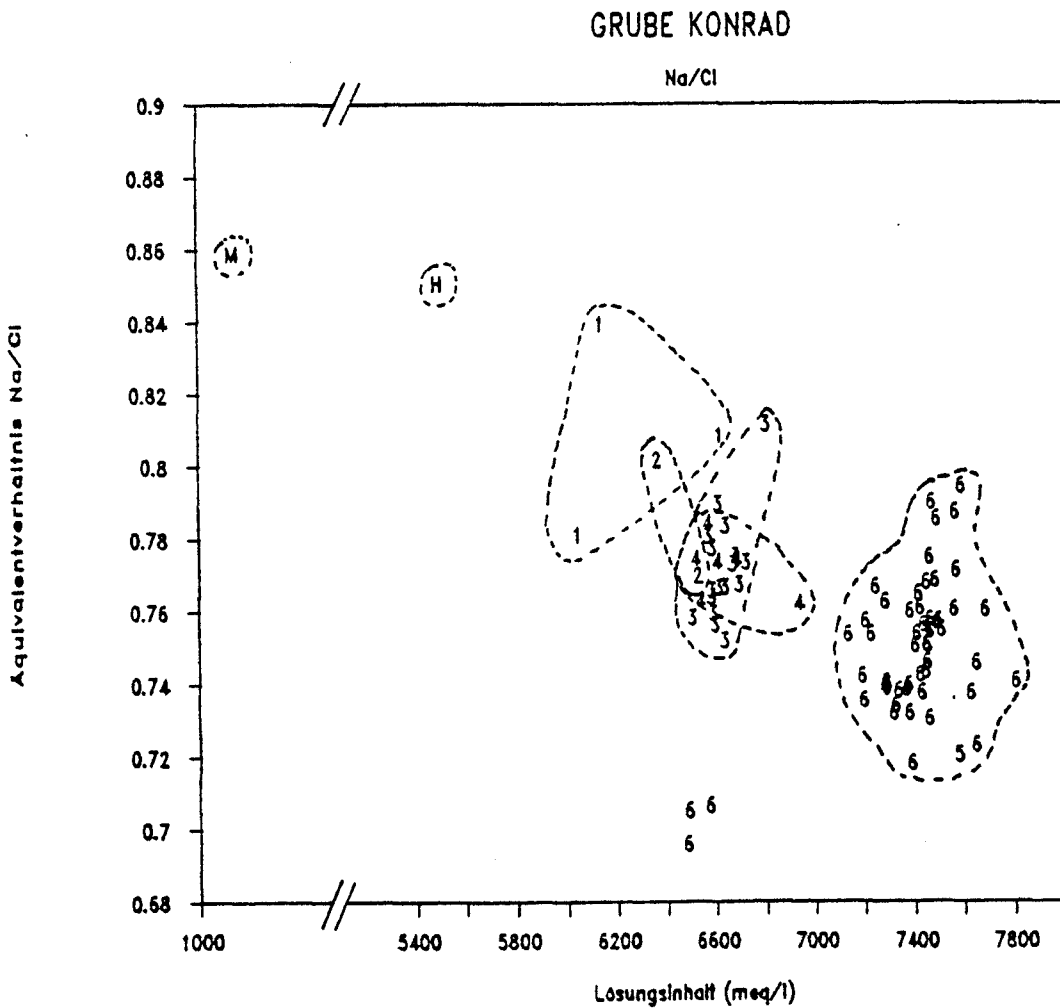


Abb. 9: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Natrium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Calcium ist in den Wässern im Vergleich zum Meerwasser stark angereichert. Bezogen auf den Lösungsinhalt zeigt Ca^{++} ein entgegengesetztes Verhalten wie Natrium, d.h. das Äquivalentverhältnis Ca/Cl steigt mit zunehmenden Lösungsinhalt der Wasser (Abb. 10). Verantwortlich für die Calciumanreicherung in den Wässern sind Ionenaustauschprozesse zwischen Ca-beladenen Ionentauschern des Sediments und den Na^{+} -Ionen des Wassers ([REDACTED] 1973). Die Wasser somit als Ca-Cl-Austauschwasser einzustufen.

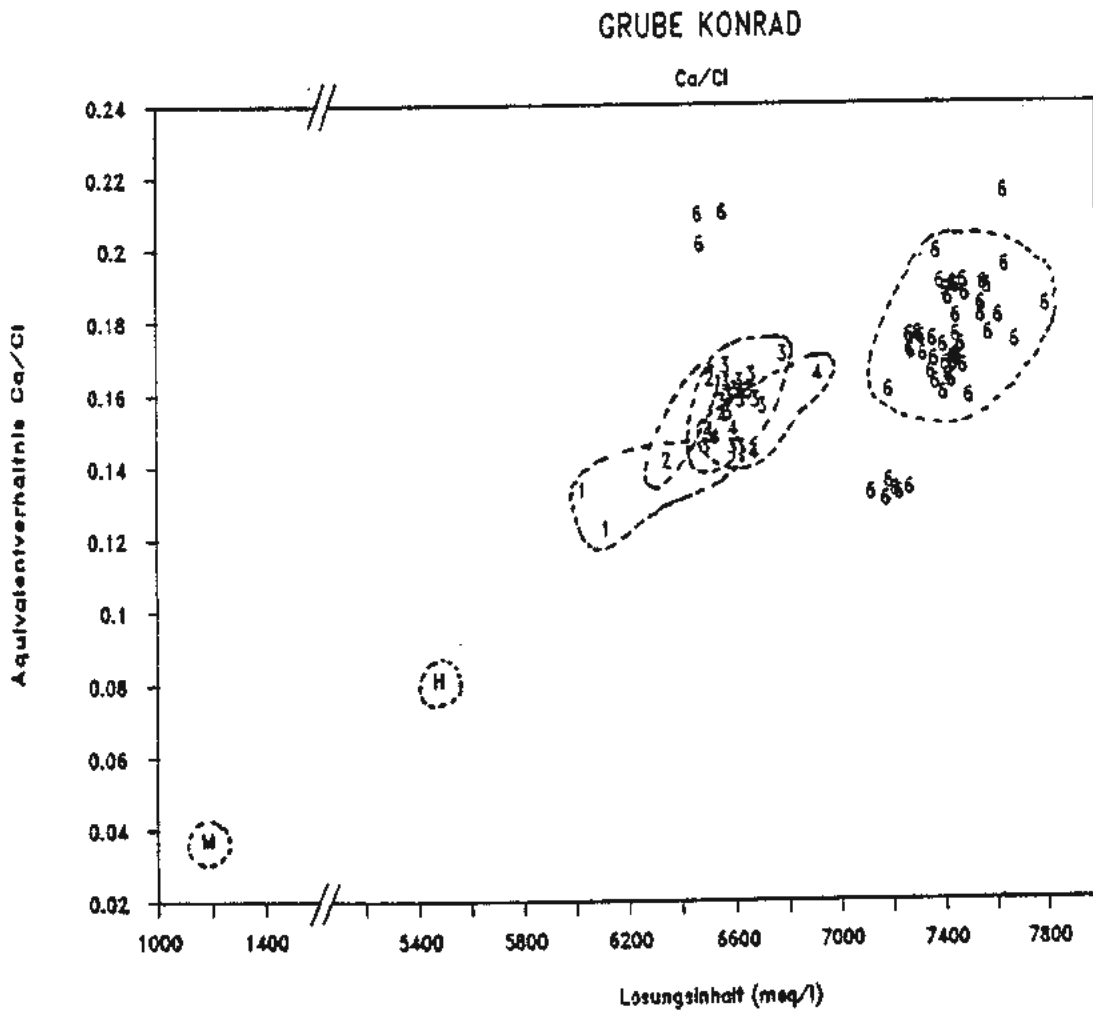


Abb.10: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Calcium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wasser.

Die Gehalte an Magnesium in den Konrad-Wässern liegen im Gegensatz zum Meerwasser deutlich niedriger als die Calciumgehalte. Entsprechend ist das Äquivalentverhältnis Mg/Cl unabhängig vom Lösungsinhalt im Vergleich zu Meerwasser um den Faktor 4 abgereichert (Abb. 11).

Eine solche relative Magnesiumarmut der meisten Tiefenwässer wird auf eine Dolomitisierung von Karbonaten im Verlaufe der Sedimentdiagenese zurückgeführt, bei der dem Porenwasser Magnesium entzogen und Calcium in stöchiometrischen Mengen zugeführt wird (██████████ 1973).

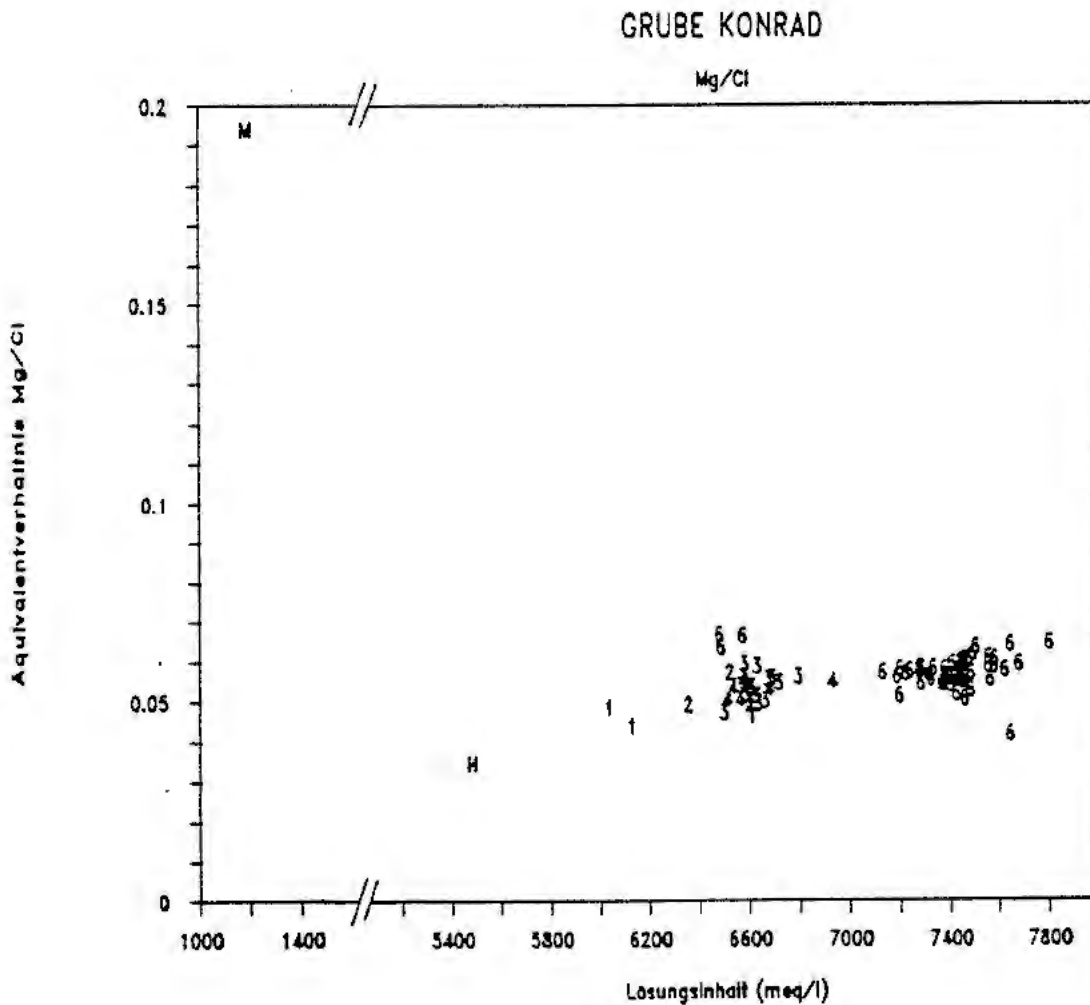


Abb.11: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Magnesium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Ebenfalls stark abgereichert im Verhältnis zu Meerwasser ist Kalium, dessen Gehalte relativ zu Chlorid durchschnittlich um eine Größenordnung niedriger als im Meerwasser liegen (Abb. 12). Eine Abhängigkeit zwischen dem Äquivalentverhältnis und dem Lösungsinhalt der Wasser ist nicht zu erkennen, allerdings weist eine Gruppe von Wässern der 6. Sohle deutlich höhere Kaliumgehalte auf. Wir gehen davon aus, daß es sich hierbei um Analysenfehler handelt. Dieses für Kalium typische Verhalten ist darauf zurückzuführen, daß das Kation als geochemisch immobiles Element bevorzugt an Tonminerale angelagert wird. Darüber hinaus wird Kalium in marinen Sedimenten im Verlaufe der Diagenese bei der Umwandlung von Na-reichen Tonmineralen in Illite zusätzlich gebunden ([REDACTED] 1979).

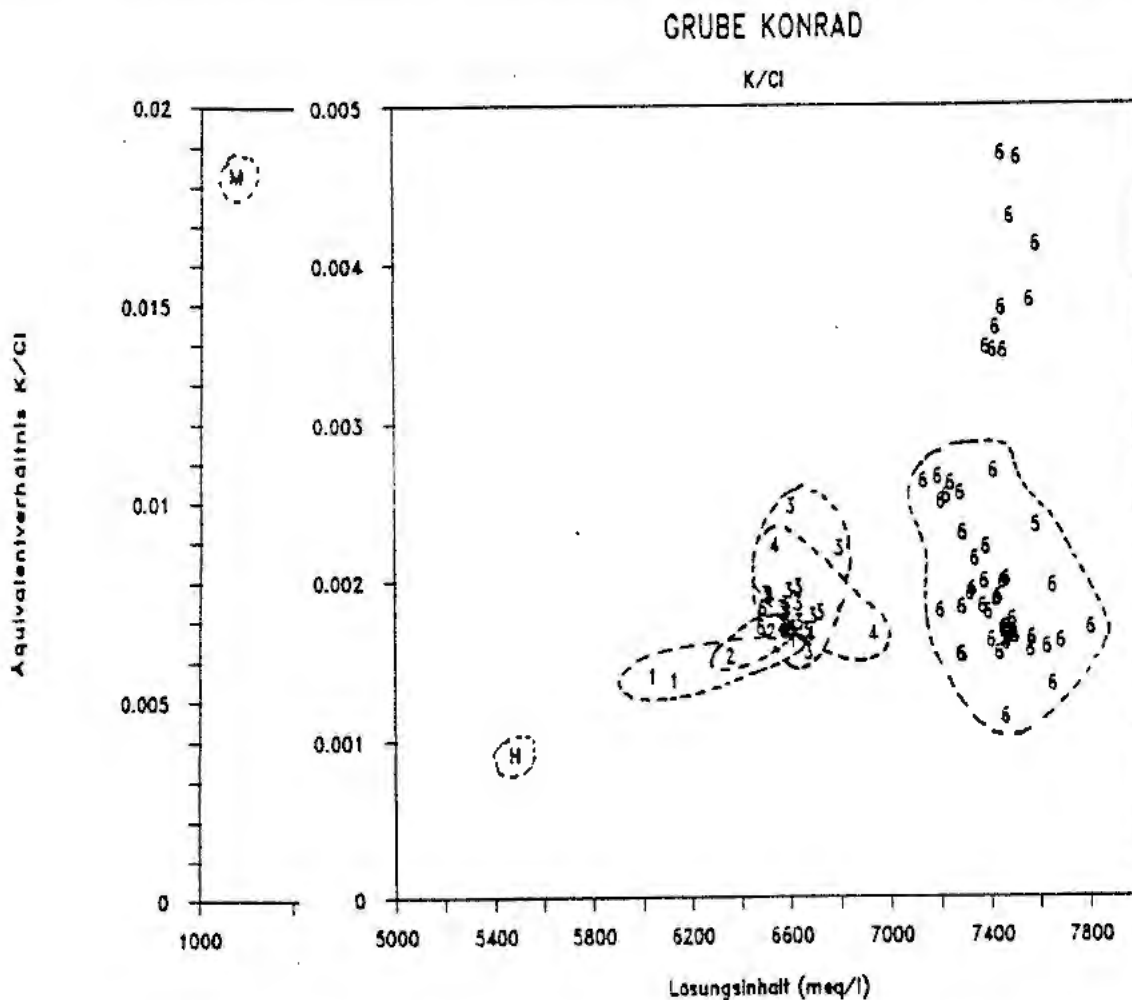


Abb.12: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Kalium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wasser.

Chlorid tritt mit einem Anteil von mehr als 99 meq-% als dominierendes Anion hervor. Verglichen mit Chlorid sind Sulfat und Hydrogenkarbonat Spurenstoffe, deren Konzentrationen sich nicht von denen anderer Spurenelemente unterscheiden.

Das Äquivalentverhältnis Sulfat/Chlorid liegt in den Konrad-Wässern, unabhängig vom Lösungsinhalt, um den Faktor 15 bis 50 unter dem des Meerwassers (Abb. 13). Die niedrigen Sulfatgehalte in den Konrad-Wässern können durch zwei voneinander verschiedene Reaktionen hervorgerufen worden sein:

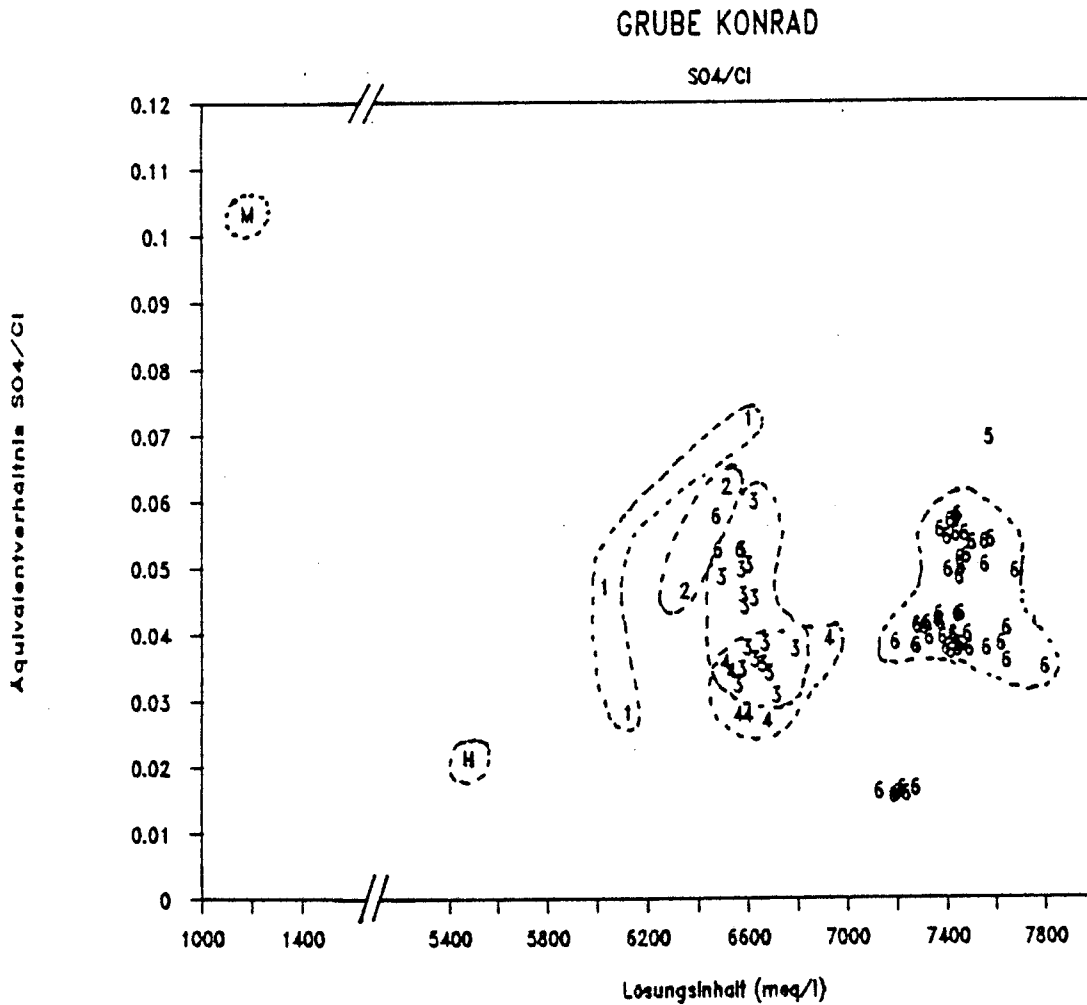


Abb.13: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Sulfat/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

- a) Durch bakteriell gesteuerte Sulfatreduktion.
- b) Durch Sulfatausfällung infolge der Überschreitung des Löslichkeitsproduktes schwerlöslicher Sulfate.

zu a)

Bei der bakteriell gesteuerten Sulfatreduktion werden oxydierbare Stoffe - z.B. organische Substanzen - unter anaeroben Bedingungen durch spezialisierte Bakterienstämme bei gleichzeitiger Reduktion des Sulfats zu Sulfid, zu CO_2 oxidiert. Entsprechende Reaktionen zeigen sich in den Porenwässern mariner Sedimente in einem kontinuierlichen Rückgang der Sulfatgehalte zur Teufe hin, der mit einem Anstieg der Konzentration an Kohlendioxid einhergeht. CO_2 entsteht dabei als Endprodukt des Abbaus organischer Substanz (BROWNLOW 1979).

Einzelne spezialisierte sulfatreduzierende Stämme wurden noch bei hohen Salzgehalten bis zu 3 mol/l und hohen Temperaturen von bis zu 55°C nachgewiesen (DVWK 1988). Die allgemein in Tiefenwässern fast durchgängig sehr geringen Sulfatgehalte werden daher in der Literatur überwiegend auf bakteriell gesteuerte Sulfatreduktion zurückgeführt (██████████ 1975). Messungen der Schwefel-34-Gehalte an Wässern der Grube Konrad deuten darauf hin, daß auch diese Wässer durch bakteriellen Sulfatabbau beeinflusst sind.

zu b)

Sulfat bildet mit Calcium und Strontium schwerlösliche Salze. Es ist also denkbar, daß Zufuhr von Ca^{++} infolge von Ionenaustauschvorgängen bei den Konrad-Wässern zu einer Überschreitung des Löslichkeitsproduktes von CaSO_4 und zur Ausfällung von Anhydrit oder Gips führte. Ebenso ist eine Fällung von Cölestin durch Zufuhr von Strontium denkbar und auch beobachtet worden.

In Abb. 14 und Abb. 15 wurden die Calcium- und Strontiumgehalte der Wässer gegen Sulfat aufgetragen. Die Diagramme zeigen, daß zwischen Ca^{++} und SO_4^{--} keine Korrelation besteht, während hohe Strontiumgehalte eindeutig an niedrige Sulfatgehalte gebunden sind und umgekehrt. Die Diagramme können dahingehend interpretiert werden, daß die Wässer in ihrer jetzigen Zusammensetzung untersättigt an CaSO_4 sind, während Sr^{++} und SO_4^{--} -Gehalte im Bereich der Sättigungskonzentration von Cölestin liegen. Vereinzelt anzutreffende Cölestinbeläge auf Klüften belegen, daß zumindest lokal das Löslichkeitsprodukt von SrSO_4 überschritten wurde.

Da die ursprüngliche Höhe der Sulfatgehalte der Wässer unbekannt sind, läßt sich nicht entscheiden, in welchem Umfange Sulfatreduktion und Sulfatfällung zum Abbau der Sulfatgehalte in den Wässern beigetragen haben.

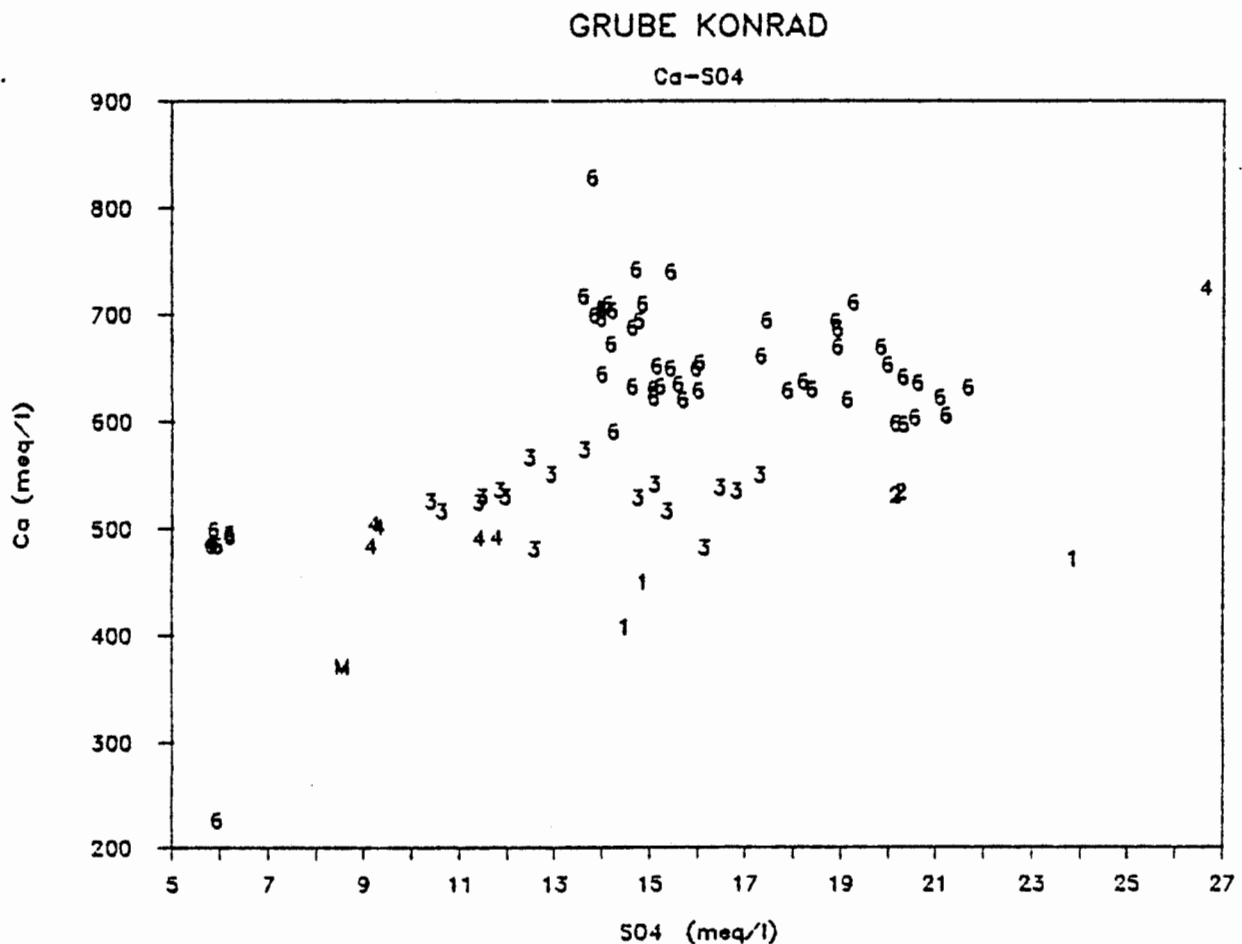


Abb.14: Beziehung zwischen Calcium und Sulfat.

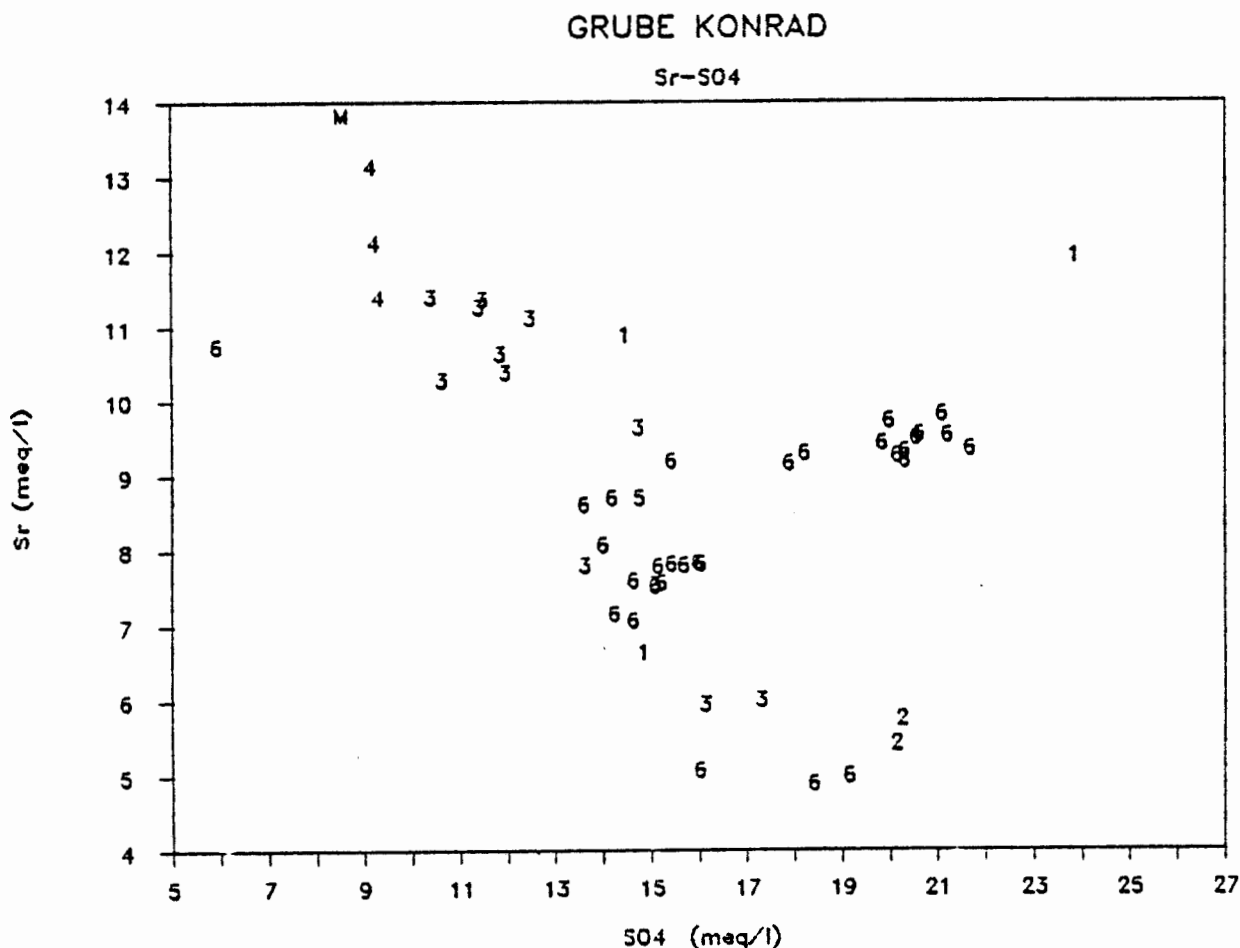


Abb.15: Beziehung zwischen Strontium und Sulfat.

Die Bestimmungen von Hydrogenkarbonat in den Konrad-Wässern sind ebenfalls mit relativ hohen Fehlermöglichkeiten behaftet. Das Gleichgewichtssystem Ca-CO₂-H₂O wird entscheidend durch den Partialdruck des Kohlendioxids gesteuert. Die Druckentlastung der Wässer beim Austritt aus Klüften führt zur Entgasung von CO₂ und damit zu einer Störung des Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes in der Wasserprobe.

Eine weitere Fehlerquelle besteht darin, daß bei der Säuretitration vorausgesetzt wird, daß die Säure allein durch das Karbonatsystem gepuffert wird. Borsäure oder organische Säure

ren können daher die Analysen merklich verfälschen. Entsprechend unsicher müssen daher die Bestimmungen des Hydrogenkarbonats eingeschätzt werden.

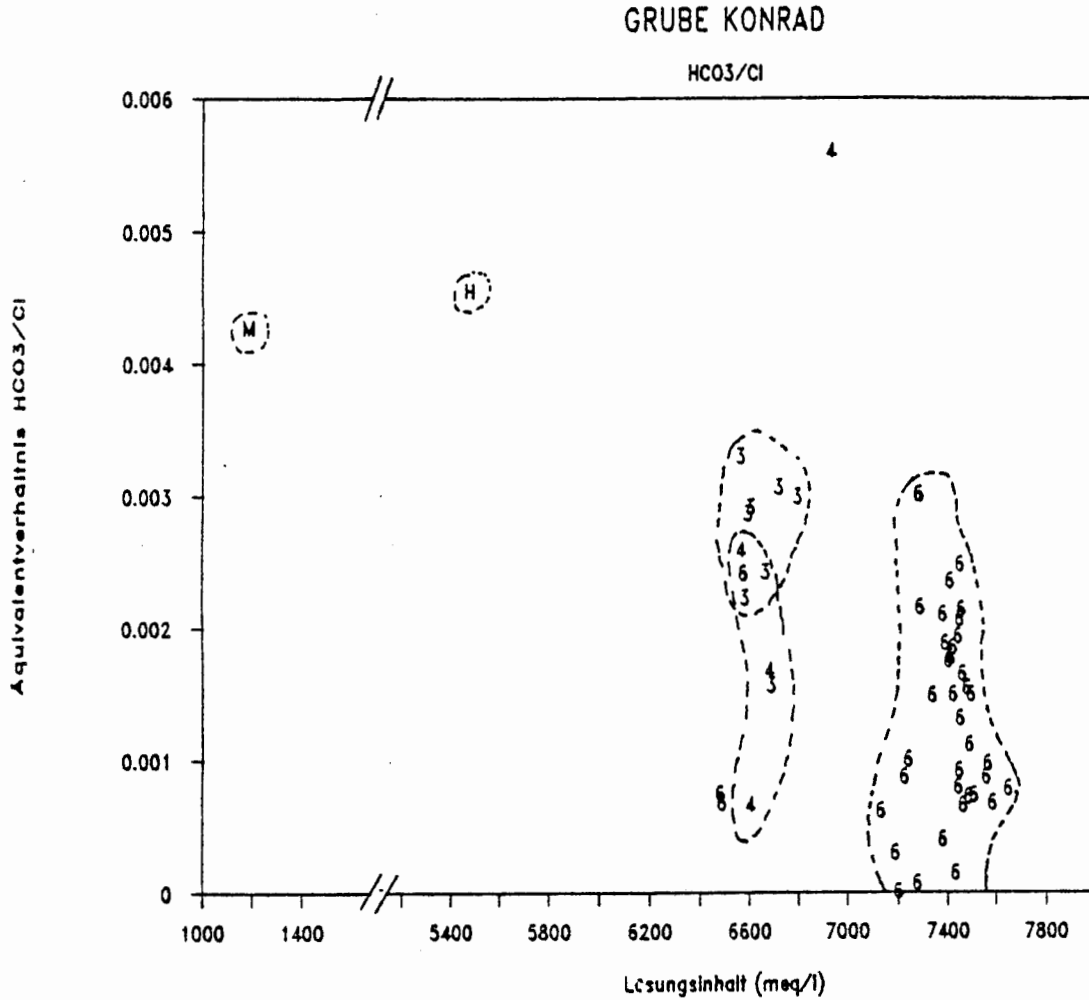


Abb.16: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Hydrogenkarbonat/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Die analysierten Gehalte an Hydrogenkarbonat in den Konrad-Wässern liegen im Bereich von 1 mmol/l. Im Vergleich zum Meerwasser ist das Äquivalentverhältnis HCO₃/Cl um mehr als eine Größenordnung erniedrigt (Abb. 16). Grund hierfür sind die hohen Gehalte an Ca⁺⁺, welche das Gleichgewichtssystem CaCO₃-CO₂-HCO₃ hin zu niedrigen Hydrogenkarbonatgehalten

verschoben. Die Wässer besitzen daher eine sehr geringe Pufferkapazität. Die Zufuhr geringer Mengen von Säuren wie organische Säuren oder auch CO_2 können daher relativ große Verschiebungen im pH-Wert bewirken. Hierin dürfte auch der Grund dafür zu finden sein, daß die pH-Werte der Wässer mit Werten von 6,7 bis 4,5 deutlich im sauren Bereich liegen (Abb. 17).

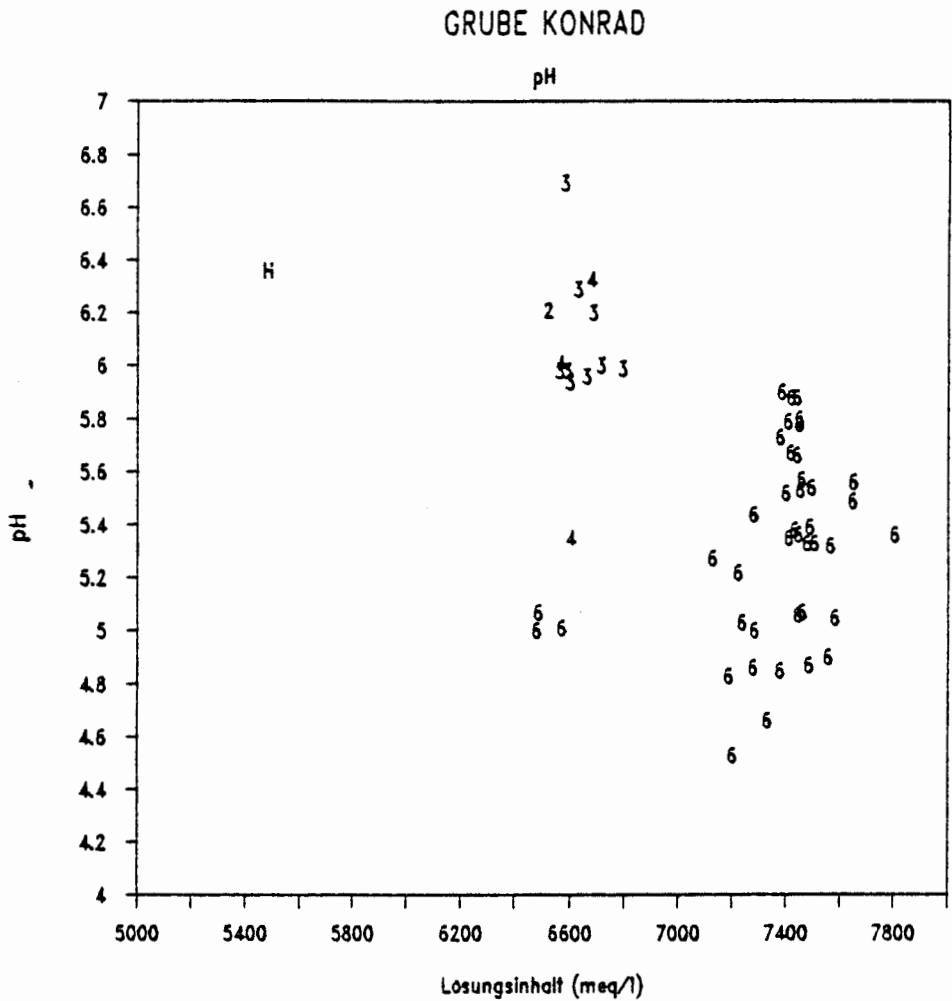


Abb.17: Beziehung zwischen pH-Wert und Lösungsinhalt der Wässer.

3.3 Spurenelemente

3.3.1 Strontium

Die Konrad-Wässer haben durchweg hohe Strontiumgehalte von etwa 5 bis 15 meq/l bzw. 220 bis 660 mg/l.

Infolge der geringen Löslichkeit von SrSO_4 und SrCO_3 können merklich hohe Strontiumgehalte nur in sulfat- und karbonatarmen Wässern vorkommen. So zeigten Untersuchungen an intrudierten Meerwässern in Grundwasserleitern des Nordseeküstenbereiches, daß mit fortschreitendem bakteriell bedingtem Sulfatabbau ein Ansteigen der Strontiumgehalte in den Wässern einhergeht ([redacted] 1972).

Bei den Konrad-Wässern liegt das Verhältnis Sr/Cl um etwa 1 Größenordnung höher als im Meerwasser (Abb.18). Es zeigt sich eine relativ große Schwankungsbreite der Strontiumgehalte unabhängig vom Lösungsinhalt der Wässer, die damit zusammenhängen dürfte, daß Sr^{++} - und Sulfatkonzentration im Bereich der Sättigung für SrSO_4 liegen, und die Strontiumkonzentrationen wesentlich durch die Lösungsinhalte an SO_4^{--} bestimmt werden (s. auch Kap. 3.2 unter Sulfat).

Strontium ist geochemisch dem Calcium ähnlich. In einer Reihe von Mineralen erlaubt die Kristallstruktur eine Substitution von Ca^{++} durch Sr^{++} . Hierzu zählen Gips ([redacted] 1966), aber auch Aragonit ([redacted] 1985). Die Kristallstruktur von Calcit andererseits läßt keinen Einbau von Strontium zu. Da CaCO_3 im marinen Milieu vorherrschend als Aragonit gefällt wird, führt dessen Umwandlung zu Calcit im Verlaufe der Diagenese zu einer Freisetzung von Strontium-Ionen und einer entsprechend starken Erhöhung der Sr^{++} -Gehalte in den Porenwässern. Dies tritt besonders dann ein, wenn Sulfat durch bakteriell gesteuerte Sulfatreduktion abgebaut wird.

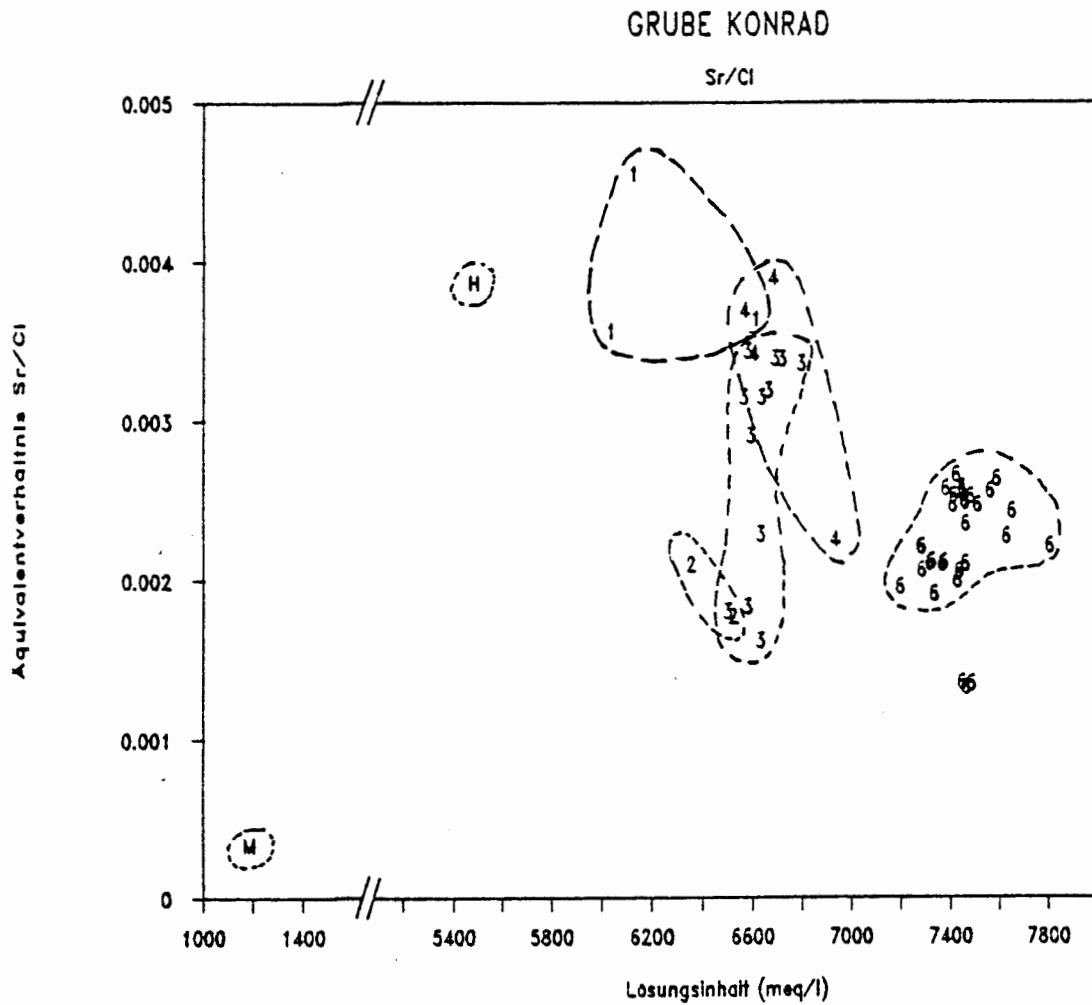


Abb.18: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Strontium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Bei der Eindunstung von Meerwasser wird der Überwiegende Teil des Strontium zusammen mit Gips ausgefällt. Entsprechend ist auch bei Wässern, die im Kontakt mit Anhydriten oder Gipsen standen, je nach deren Sulfatgehalt mit erhöhten Gehalten an Strontium zu rechnen.

Hieraus ergibt sich, daß hohe Gehalte an Strontium allein kein zuverlässiges Kriterium hinsichtlich der Genese von Tiefenwässern darstellen.

Auch im Falle der Konrad-Wässer können die durchgängig hohen Strontium-Gehalte sowohl von einem Kontakt mit karbonatischen Gesteinen als auch mit Anhydriten herrühren. Gegen eine Ab-
laugung von Anhydriten spricht allerdings der niedrige Sul-
fatgehalt der Wässer.

3.3.2 Lithium

An den Konrad-Wässern wurden Lithiumgehalte von 1 bis 5 mg/l gemessen. Das Lithium/Chlorid-Verhältnis des Hilssandstein-Wassers entspricht annähernd dem des Meerwassers, während die entsprechenden Verhältnisse für die Wässer des Oxford um den Faktor 2 bis 6 über dem des Meerwassers liegen. Als Tendenz ergibt sich aus Abb. 19 weiterhin ein Anstieg des Li/CL-Verhältnisses mit zunehmenden Lösungsinhalt, wobei allerdings die Wässer der 6. Sohle eine sehr heterogene Verteilung zeigen. Möglicherweise ist dies auf Analysefehler zurückzuführen.

Lithium ist aufgrund seines kleinen Ionenradius und seiner hohen Polarität weniger als andere Kationen von Adsorptions- und Ionenaustauschvorgängen betroffen. Im magmatischen Schmelzen reichert sich das Element bis zum Endstadium der Differentiation in der Schmelze an ([REDACTED] 1985). Entsprechend findet sich Lithium in Pegmatiten aber auch in Biotit angereichert. Vergleichsweise hohe Gehalte an Lithium in Grundwässern des Kristallins werden auf eine Reaktion des Wassers mit Biotiten zurückgeführt ([REDACTED] et al 1987).

Lithium zählt zu den Ionen, die sich bei der Eindunstung von Meerwasser kontinuierlich in der Restlauge anreichern ([REDACTED] [REDACTED] 1975), so daß Evaporite im Vergleich zu Meerwasser an Lithium abgereichert sind. Andererseits haben Untersuchungen in der Asse ergeben, daß Lithium bei der Salzausfällung verstärkt in Anhydriten fixiert wird (GSF 1988).

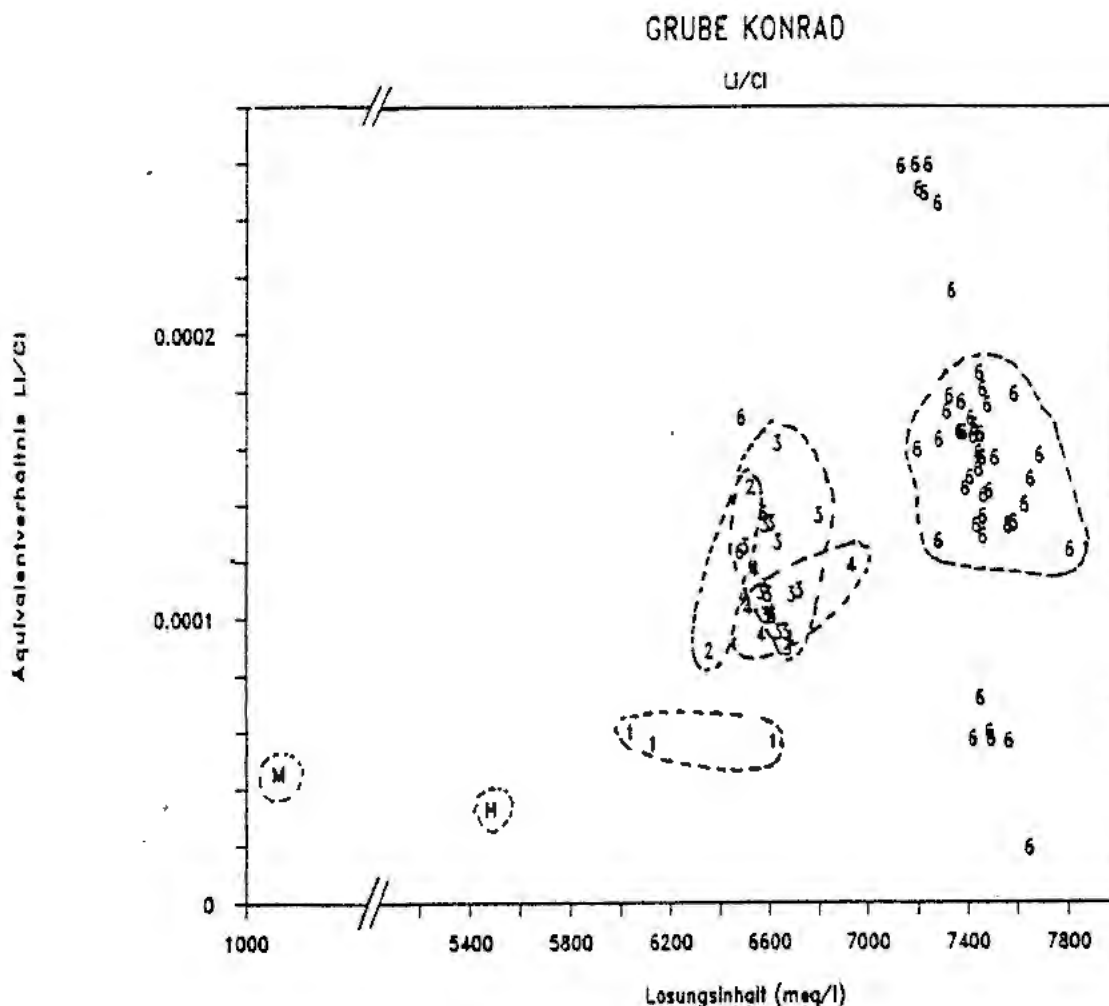


Abb.19: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Lithium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Ebenso ergaben Untersuchungen an Ablaugungswässern aus dem Bereich des Salzstocks Gorleben, daß die Li/Cl-Verhältnisse dieser Wässer bei einer Schwankungsbreite von etwa einer Größenordnung im Mittel nicht wesentlich von dem des Meerwassers abweichen (pers. Mitt. [redacted] 1988).

Nach [redacted] (1977) wurden in der DDR in "Schichtwässern" der Trias Lithiumkonzentrationen gemessen, welche "die Konzentration des Lithiums in Mutterlaugen (d.h. den Eindunstungsprodukten von Meerwasser) um ein vielfaches übersteigen". Als mögliche Stofflieferanten werden von diesem Verfasser Tone, besonders Kaolinite und Salztone genannt.

Zusammenfassend kann hieraus geschlossen werden, daß die Lithium-Gehalte von Tiefenwässern kein wesentliches Kriterium hinsichtlich der Genese der Wässer liefern.

3.3.3 Rubidium

Das geochemisch dem Kalium ähnliche Rubidium reichert sich ebenso wie Lithium bei der Salzausscheidung in der Restlauge an, wird allerdings in höherem Maße als Lithium zusammen mit Sylvinit ausgefällt (██████████ 1975). Nach ██████████ (1969) können stark erhöhte Rubidium-Gehalte von über 5 mg/l in Tiefenwässern ein Indiz dafür sein, daß diese von salinaren Reliktlösungen des Zechstein abstammen. Dem steht allerdings entgegen, daß Rubidium in noch stärkeren Maße als Kalium von Tonmineralen adsorbiert wird (██████████ 1975).

Rubidium wurde nur an einem Teil der Wässer der Grube Konrad bestimmt. Es lassen sich, unabhängig vom deren Salzgehalt, zwei Gruppen von Wässern unterscheiden (Abb. 20). Bei der ersten Gruppe entspricht das Verhältnis Rb/Cl in etwa dem des Meerwassers, während die zweite Gruppe durch einen 5 bis 6-fach höheren Wert charakterisiert ist. Nicht berücksichtigt wurden in dieser Darstellung diejenigen Analysen, bei denen Rubidiumgehalte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,17 mg/l bestimmt wurden. Da bei Mehrfachbeprobungen von Wässern bei aufeinanderfolgenden Analysen teilweise Unterschiede der Rb-Gehalte von mehr als einer Größenordnung gemessen wurden, sind Analysenfehler nicht auszuschließen. Auf eine weitere Interpretation der Rubidiumgehalte wird daher verzichtet.

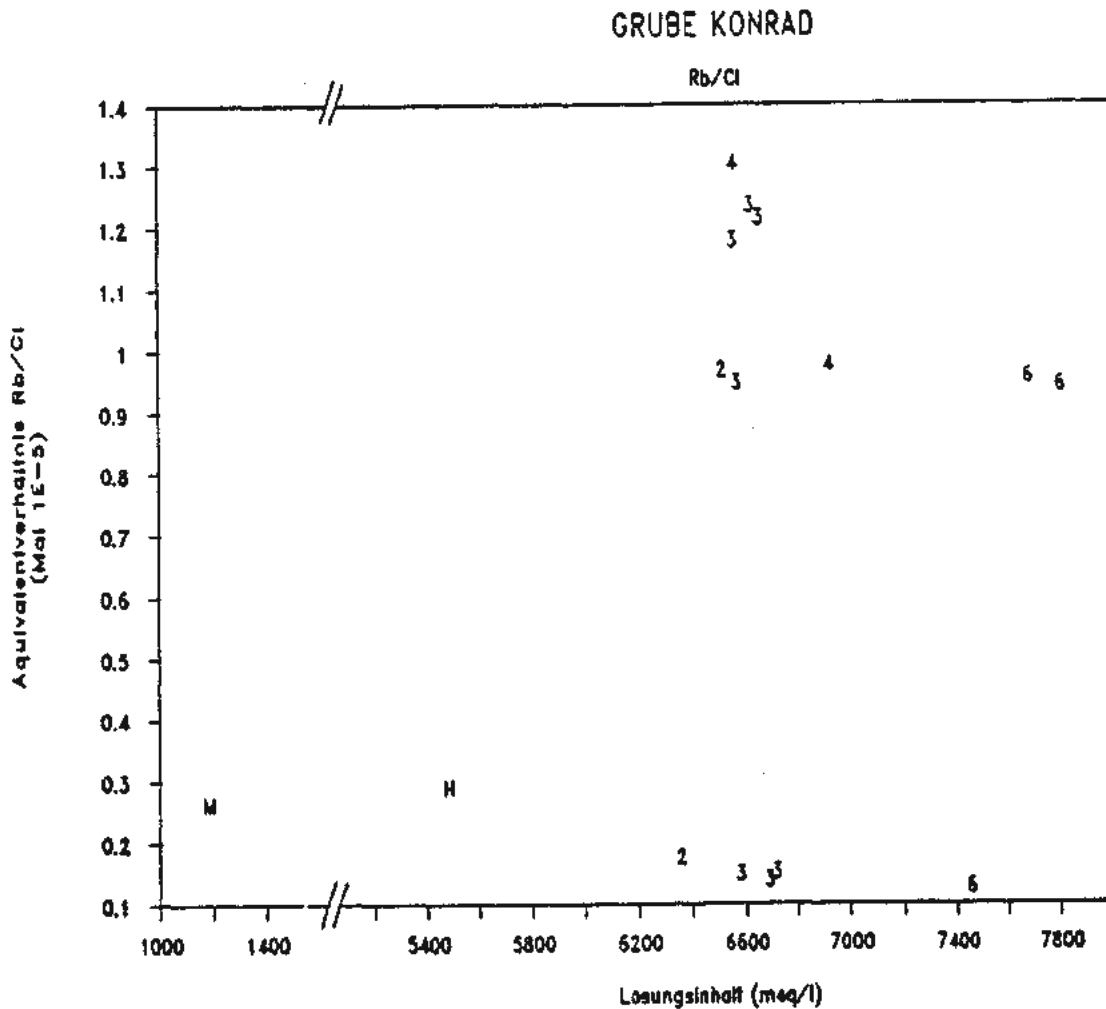


Abb.20: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Rubidium/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

3.3.4 Bor

Auch Bor zählt zu den Elementen, die sich bei der Eindunstung von Salzwässern in der Restlauge anreichern. Entsprechend sind Halite relativ abgereichert an Bor ([redacted] 1975). Bor-gehalte von Tiefenwässern können daher Hinweise auf deren Genese liefern. Die Untersuchungen im Bereich des Salzstocks Gorleben bestätigen dies insofern, als die Verhältnisse B/Cl von Ablaugungswässern bei etwa $1 \cdot 10^{-4}$ und damit um mehr als 2 Größenordnungen niedriger als im Meerwasser liegen (pers. Mitt. [redacted] 1988).

In der Literatur finden sich wenig konkrete Angaben, in welchem Umfange Bor in Sedimenten adsorbiert wird. In [REDACTED] (1977) werden stark erniedrigte Borgehalte in Tiefenwässern, deren Genese auf saline Reliktlösungen zurückgeführt wird, durch starke Boradsorption der Gesteine erklärt. Vergleichsweise hohe Borgehalte in Tongesteinen von durchschnittlich 200 ppm ([REDACTED] 1975) könnten ebenfalls auf eine Boradsorption durch Tonminerale hindeuten.

Die Äquivalentverhältnisse B/Cl der Konrad-Wässer liegen mit Werten zwischen 2 und $4 \cdot 10^{-2}$ geringfügig niedriger als beim Meerwasser, dessen Wert $4,5 \cdot 10^{-2}$ beträgt (Abb. 21). Eine Abhängigkeit vom Lösungsinhalt ist dabei nicht zu erkennen.

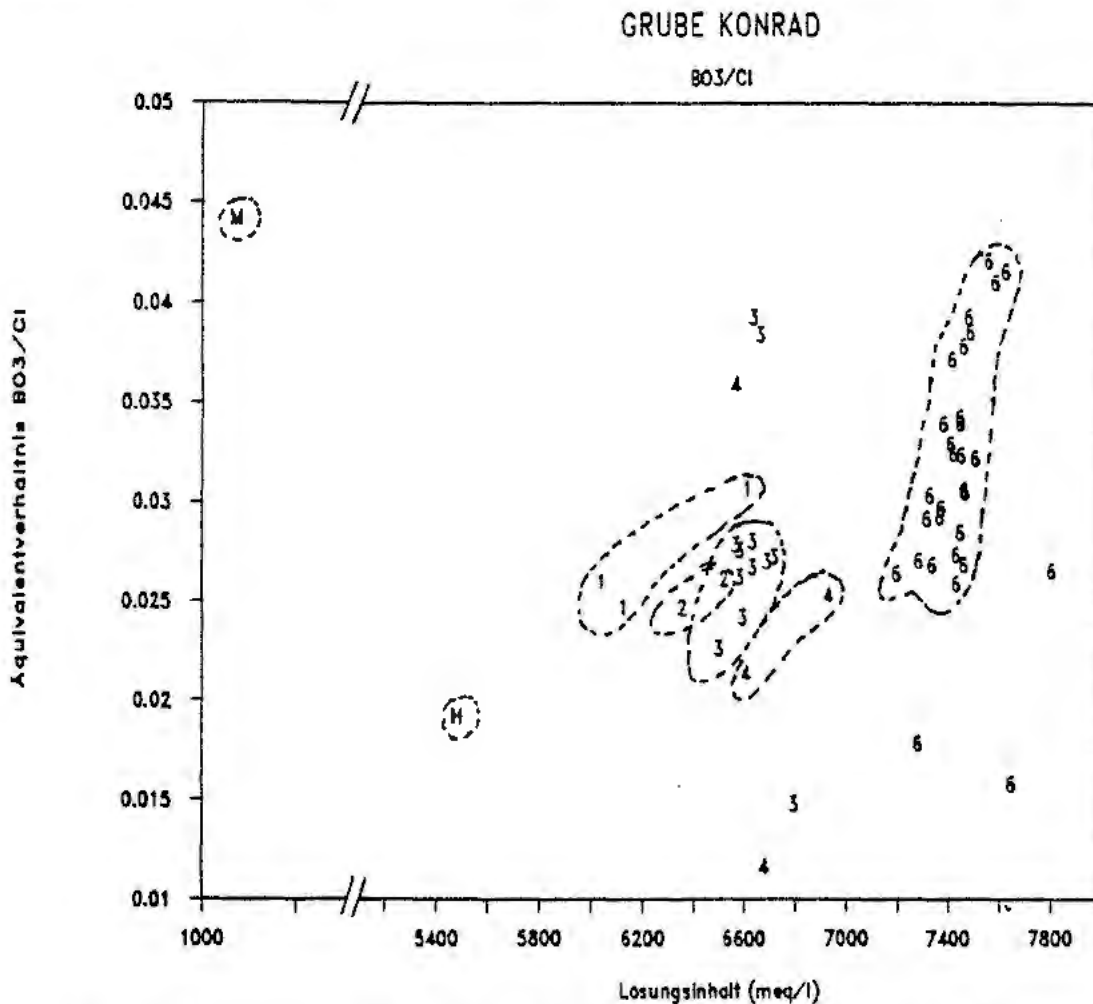


Abb.21: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Bor/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Hinsichtlich der Genese der Wässer kann dies zumindest als Indiz dafür gewertet werden, daß die Konrad-Wässer keine reinen Ablaugungswässer sind.

3.3.5 Jodid

Das Äquivalentverhältnis J/Cl der Konrad-Wässer liegt um 2 bis 3 Größenordnungen über dem des Meerwassers (Abb. 22). Die Schwankungsbreite der Werte ist vergleichsweise groß, wobei ein Zusammenhang zwischen der Größe des Lösungsinhaltes und dem Verhältnis J/Cl nicht zu erkennen ist.

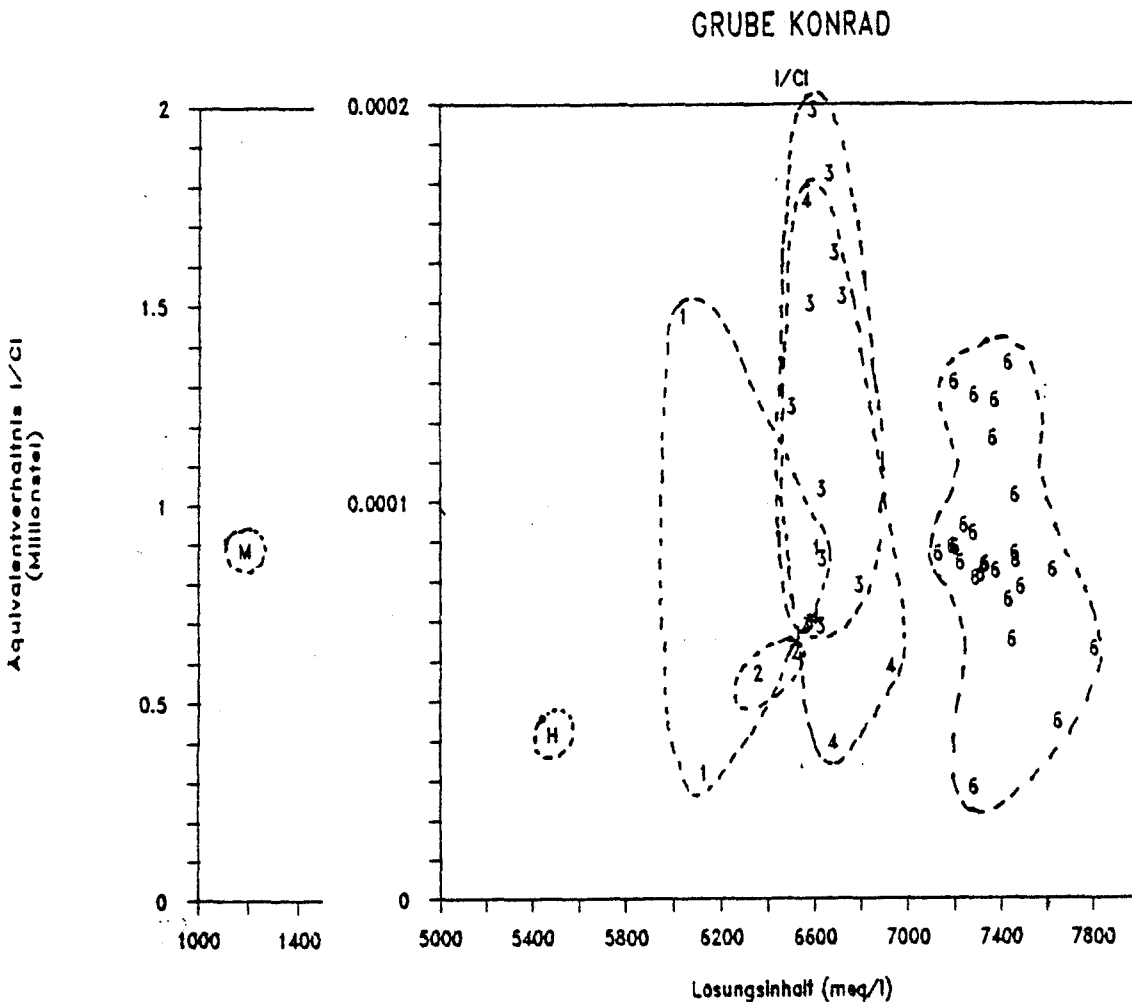


Abb.22: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Jodid/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

In zahlreichen Arbeiten wird auf die enge Beziehung zwischen Jodid-Gehalten in Grundwässern und dem Gehalt an organischer Substanz in den Sedimenten hingewiesen ([REDACTED] 1977; [REDACTED] 1973). Sie beruht darauf, daß Jod von zahlreichen marinen Lebewesen wie Algen und Plankton bevorzugt aufgenommen wird. Durch die Einbettung organischen Materials in feinkörnige Sedimente und dessen fortschreitenden Abbau im Verlaufe der Diagenese gelangen zunehmend höhere Konzentrationen an Jodid in das Porenwasser. Entsprechend hebt [REDACTED] hervor, daß "the iodine concentration of ... subsurface waters is dependant on the proximity of argillaceous deposits containing organic matter, rather than on dissolved mineralization [REDACTED] 1975).

Gehalte an organischer Substanz finden sich in mehr oder weniger großem Umfange in allen Ton- und Tonmergelsteinen im Hangenden und Liegenden des Oxford, während das Oxford selbst im wesentlichen frei an organischen Bestandteilen ist. Quelle der hohen Gehalte an Jodid in den Konrad-Wässern können daher sowohl die Ton- und Tonmergelsteine des Jura als auch der Unterkreide sein.

3.3.6 Bromid

Bromid reichert sich bei der Eindunstung von Meerwasser aufgrund der durchweg guten Löslichkeit der Bromide bis zum Beginn der Ausfällung von Kalisalzen kontinuierlich in der Restlauge an. Halite besitzen daher im Vergleich zu Meerwasser ein stark erniedrigtes Verhältnis Br/Cl. In Sylvinit dagegen wird Bromid in geringem Umfange in das Kristallgitter eingelagert, so daß Kalisalze im Vergleich zu Steinsalzen 5 bis 10-fach höhere Bromidgehalte aufweisen ([REDACTED] 1975).

Aufgrund des Verhaltens von Bromid bei der Eindunstung von Meerwasser sowie der Tatsache, daß Bromid wie auch Chlorid

als konservatives Ion weitestgehend unbeeinflusst von Wechselwirkungen zwischen Porenwasser und Gestein bleibt, dient das Verhältnis Br/Cl als wichtigstes Entscheidungskriterium in bezug auf die Genese von Tiefenwässern.

Kalialze sind in Evaporiten im Vergleich zu Halit in weitaus geringerem Maße vertreten. Daher sind Salzwässer, die durch Ablaugung von Salzlagerstätten entstanden, im Vergleich zu Meerwasser stark erniedrigt am Bromid. Bei Ablaugungswässern über dem Salzstock Gorleben beispielsweise liegt das Verhältnis Br/Cl einheitlich um eine Größenordnung unter dem des Meerwasserverhältnisses (pers. Mitt. [REDACTED] 1988). Andererseits steht zu erwarten, daß Tiefenwässer, deren Genese auf evaporitische Restlaugen zurückzuführen ist, stark erhöhte Bromidgehalte zeigen.

Die allgemein positive Korrelation zwischen dem Gehalt an organischen Bestandteilen, NH_4^+ , J^- einerseits sowie Br- andererseits, sowohl in Süßwassersedimenten als auch in marinen Ablagerungen deutet allerdings darauf hin ([REDACTED] 1975), daß neben Jodid auch das Bromid in geringem Maße in der organischen Substanz von Sedimenten angereichert werden kann.

Nach [REDACTED] 1973) besteht zudem die Möglichkeit, daß Bromid-Ionen durch Tonmembraneffekte aufgrund des größeren Ionenradius im Vergleich zu Chlorid bevorzugt zurückgehalten und damit selektiv angereichert werden.

Abb. 23 zeigt, daß alle Wässer des Korallenoolith im Vergleich zum Meerwasser an Bromid angereichert sind, während das Hilssandstein-Wasser etwa 2-fach abgereichert ist. Unter Anwendung der oben dargelegten Kriterien läßt sich hieraus folgern, daß die Wässer des Korallenoolith keine nennenswerten Anteile von Ablaugungswässern enthalten, während im Wasser des Hilssandstein ein erheblicher Anteil des Salzgehaltes auf Ablaugung von Haliten zurückgehen dürfte.

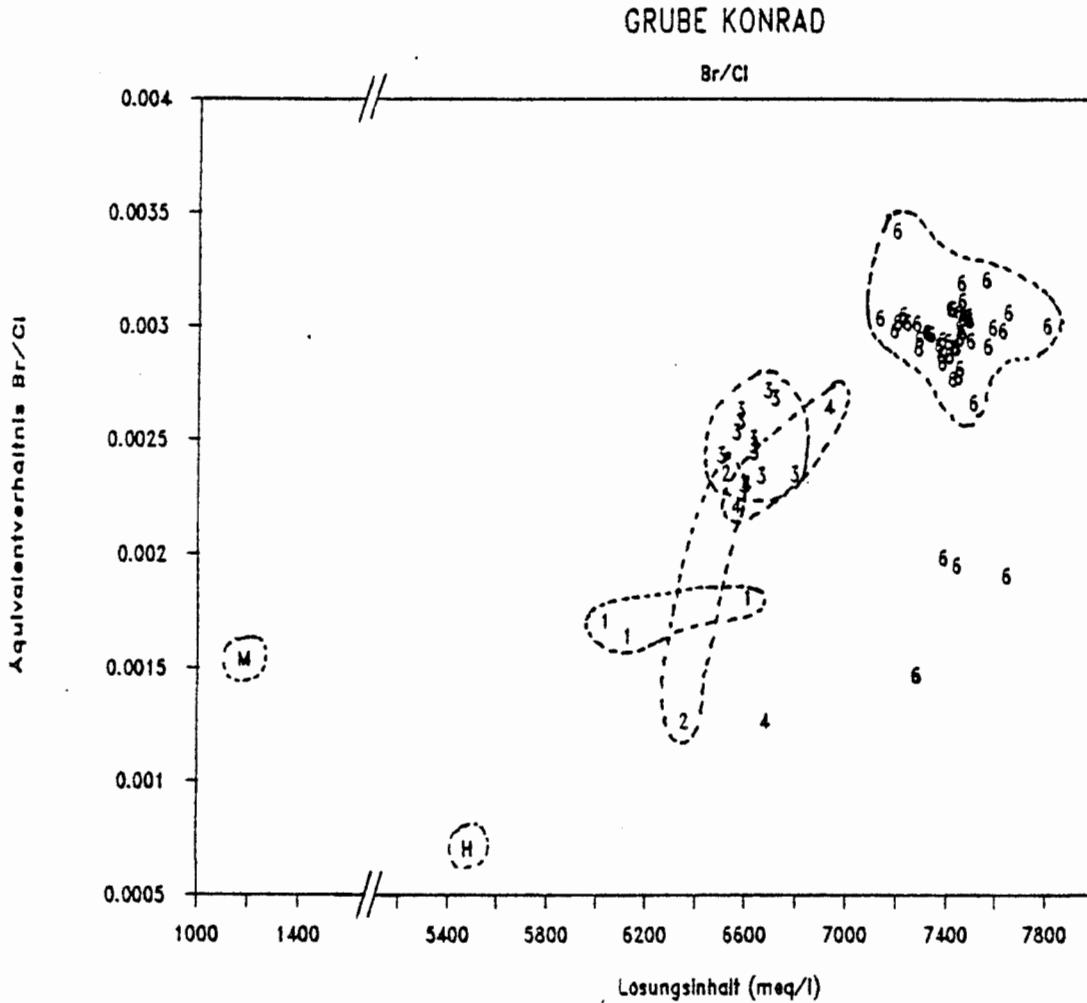


Abb.23: Beziehung zwischen dem Äquivalentverhältnis Bromid/Chlorid und dem Lösungsinhalt der Wässer.

Ob die relativ zum Meerwasser erhöhten Bromidgehalte in den Wässern des Korallenoolith auf eine genetische Beziehung der Wässer zu aufkonzentrierten Salzlaugen hindeuten, oder ob die Bromidanreicherung auf Wechselwirkungen zwischen Gestein und Porenwässern zurückgeht, wird in Kapitel 5 ausführlich diskutiert.

3.4 Methanhaltige Gase

In der Grube Konrad wurde bisher in zwei Fällen eine Gasführung an auslaufenden Wässern beobachtet. Es handelt sich um den Wasserzutritt im Ort 300 mit einem Gasgehalt von 150 bis 250 Nml/l Gas und um die Cornbrash-Bohrungen am Schacht II. In beiden Fällen bestehen die Gase zum überwiegenden Teil aus Methan sowie aus Stickstoff und CO₂ sowie Spuren von höheren Kohlenwasserstoffen (vgl. Tab. 1).

	CH ₄ (%)	N ₂ (%)	CO ₂ (%)	höhere Kohlenwas- serstoffe (%)
Ort 300	71,5	25,6	2,4	0,5
Cornbrash (Schacht II)	78,2	18,0	2,6	1,2

Tab. 1: Gaszusammensetzung von Proben aus dem Ort 300 und den Cornbrash-Bohrungen am Schacht II der Grube Konrad.

Aus der Isotopenzusammensetzung des Methans läßt sich ableiten, daß dieses Gas in beiden Fällen Mischungen aus thermisch gebildetem Methan und durch bakterielle Fermentation entstandenem Methan darstellen [redacted] 1985; [redacted] 1988).

Der relativ hohe Anteil an Stickstoff ebenso wie das Kohlendioxid dürften ebenfalls auf bakteriellen Abbau von organischer Substanz zurückzuführen sein.

Hinsichtlich der Herkunft des thermisch gebildeten Methans läßt sich aus den Untersuchungen an der Probe des Ortes 300 ein Reifegrad des Muttergesteins von 1,5 % Ro ableiten. Für die Probe aus der Cornbrash-Bohrung ergibt sich ein niedrigerer Reifegrad von 0,7 bis 0,9 % Ro. Im Vergleich dazu wurde in der Bohrung Konrad 101 in Dogger-Tonsteinen in ca. 1000 m Tiefe ein Reifegrad von 0,4 % Ro ermittelt. Wie zu erwarten, entstammt also das thermisch gebildete Methan wesentlich tiefer gelegenen Horizonten.

Zur der Herkunft des bakteriell gebildeten Methans können die Isotopenuntersuchungen keinen Aufschluß geben. Aufgrund der durchweg geringen Gehalte an organischer Substanz im Korallenoolith und im Cornbrash-Sandstein kann auch für diese Gas-komponente eine Migration aus Horizonten mit hohem Anteil an organischer Substanz im Hangenden oder Liegenden der Grube unterstellt werden.

4 Isotopenuntersuchungen

4.1 Altersbestimmungen

An Wässern aus der Grube Konrad wurden C-14- und Tritiummessungen zur Altersbestimmung durchgeführt, deren Ergebnisse in 2 Berichten niedergelegt worden sind (GSF 1988; SONNTAG 1988). Zusammenfassend ergibt sich hieraus, daß die anfänglich bestimmten C-14-Gehalte von bis zu 5 %-modern auf einen C-14- Eintrag durch Chemikalien zurückzuführen sind. Durch Wiederholungsmessungen und Blank-Versuche konnte die C-14-Freiheit der Konrad-Wässer nachgewiesen werden (SONNTAG 1988). Darüber hinaus deuten hohe Gehalte an radiogenem Helium (He-4) auf ein hohes Alter der Wässer in der Größenordnung von 20 Millionen Jahren hin ([REDACTED] 1988).

4.2 Stabile Isotope

4.2.1 Schwefel-34

Systematische Untersuchungen der Schwefelisotopenverhältnisse mariner Evaporite, die seit Beginn der sechziger Jahre vorliegen, zeigten, daß deren Schwefelisotopenverhältnisse im Verlaufe der Erdgeschichte einerseits erheblich schwankten, andererseits aber gleichaltrige Evaporite weltweit sehr einheitliche Werte zeigen. Anhand charakteristischer Isotopen-Alterskurven (Abb. 24) können sulfatische Evaporite im allgemeinen problemlos datiert werden ([REDACTED] 1969; [REDACTED] et al. 1980).

Wie Abb. 24 zeigt, sind die Salinare des Zechsteins und des Röt durch ausgeprägte Minima und Maxima charakterisiert, wobei das extreme Maximum der delta-34-S-Werte im Röt auf das Norddeutsche Salinar beschränkt bleibt. Die Werte des Muschelkalksalinars gleichen mit etwa 20 ‰ denen des rezenten

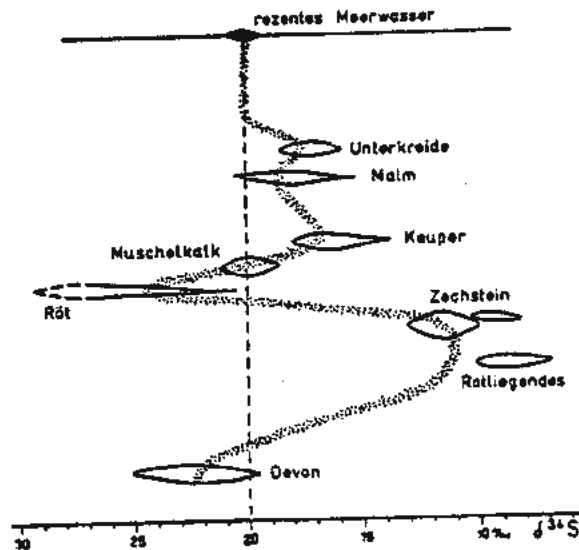


Abb.24: Delta S-34-Werte vom Sulfat des Meerwassers im Verlaufe der Erdgeschichte (nach [redacted] 1969)

Meerwassers, während für den Keuper und die Unterkreide niedrigere Werte von etwa 18‰ charakteristisch sind.

Weniger leicht lassen sich sichere Aussagen bei Grundwässern treffen, deren ursprüngliche Zusammensetzung durch Stoffumsetzungen, insbesondere durch die bakteriell gesteuerte Sulfatreduktion, nachhaltig verändert worden sein kann.

Die bakterielle Sulfatreduktion ist mit einer starken Isotopenfraktionierung verbunden, die zu einer Anreicherung von S-34 im verbleibenden gelösten Sulfat und zu einer starken Abreicherung im Sulfid führt. Der Grad der Anreicherung im Sulfat ist vom prozentualen Sulfatabbau abhängig und wird damit besonders wirkungsvoll, wenn Wasser von Beginn an geringe Sulfatmengen enthalten. Untersuchungen an Formationswässern der DDR ([redacted] et al. 1972) und an Salzwässern des Ruhrkarbons ([redacted] 1967) beispielsweise ergaben

delta-S-34-Werte von bis zu 45 ‰, deren Entstehung eindeutig auf bakterielle Sulfatreduktion zurückzuführen ist.

Durch bakterielle Umsetzungen gebildete Sulfide haben delta-S-34-Werte im Mittel von -5 bis -15, im Extremfall von -30 bis -30 ‰. Eine Zufuhr von Sulfat aus oxidierten Sulfiden ins Grundwasser verschiebt daher den delta-Wert des Sulfats im Wasser stark zur leichten Seite hin, wodurch die Interpretation zusätzlich erschwert wird (vgl. [REDACTED] 1967).

Verbesserte Interpretationsmöglichkeiten ergeben sich, wenn zusätzlich zu den Schwefelisotopen auch die Sauerstoffisotope im Sulfat bestimmt werden:

Die bakterielle Sulfatreduktion führt zur Anreicherung im verbleibenden Sulfat sowohl von S-34 als auch von O-18. In der Literatur werden für das Anreicherungsverhältnis delta S-34/delta O-18 Faktoren von 1,5 bis 4 genannt [REDACTED] 1987; [REDACTED] et al. 1984). Trägt man die Werte für delta S-34 gegen die delta O-18-Werte auf, so fallen die Meßwerte des Sulfats der verbleibenden Fraktion auf eine Gerade mit charakteristischer Steigung. Hierdurch können bakterielle Umsetzungen von anderen Umsetzungen, wie Mischung von Wässern mit unterschiedlichen delta S-34-Werten, abgegrenzt werden.

Die Schwefelisotopenzusammensetzung des Sulfats oberflächennaher Grundwässer hängt davon ab, zu welchem Anteil das Sulfat auf den Eintrag von Düngemitteln und fossilen Brennstoffen mit vorherrschend negativen und von Meeressulfaten aus Niederschlägen mit stark positiven delta S-34-Werten zurückgeht. Im allgemeinen haben oberflächennahe Grundwässer delta S-34-Werte von etwa 0 bzw. leicht negative Werte.

Aus der Grube Konrad liegen S-34-Messungen von 9 Formationswässern vor. Bei fünf Wässern wurden parallel auch die

O-18-Gehalte des Sulfats bestimmt. Darüber hinaus wurden 24 Doppelbestimmungen an Anhydriten des Kimmeridge vorgenommen (Tab. 33 und 37, LV 3661.37/AP 1).

Nicht berücksichtigt bei den weiteren Betrachtungen werden die Werte eines Wassers, das einem Eindampfungsversuch entstammt (Probe 2401/1), ebenso wie zwei Proben, für die aufgrund hoher Tritiumgehalte von 6,7 bis 9,5 bzw. 10,7 TU eine Zumischung von Betriebswässern der Grube zu unterstellen ist. Die angesprochenen beiden Proben weisen delta S-34-Werte von 5,0 bzw. 0,95 ‰ auf.

Von den verbleibenden 6 Wässern liegen in 5 Fällen Mehrfachbestimmungen von 2 bis 9 Messungen vor, welche übereinstimmend eine nur geringe Schwankungsbreite zeigen. Die delta S-34-Werte dieser Wässer schwanken zwischen 17,9 und 32,1 ‰ und entsprechen damit in etwa der Schwefelisotopenzusammensetzung von Evaporiten des Norddeutschen Röt-salinar. Inwieweit dies auf eine Herkunft der Wässer aus dem Röt-salinar hindeutet, oder aber die ursprüngliche Isotopenzusammensetzung des Sulfatschwefels durch bakteriellen Sulfatabbau verfälscht wurde, wird nachfolgend anhand von Abb. 25 und Abb. 26 diskutiert:

Abb. 25 zeigt die delta S-34-/delta O-18-Verhältnisse des Sulfats der 3 aus der Grube Konrad untersuchten Wasserproben sowie die Werte der 24 Proben aus Kimmeridge-Anhydriten. Im Diagramm enthalten sind ferner aus [REDACTED] et al. (1972) entnommene Isotopenverhältnisse von Evaporiten des Zechstein, des Röt, des Mittleren Muschelkalk und des Malm. Letztere stimmen weitgehend mit den an den Kimmeridge-Anhydriten der Grube Konrad ermittelten Werten überein und bestätigen damit den Befund, daß die Schwefel- und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse gleichalter sulfatischer Evaporite eine weitgehende regionale Konstanz zeigen.

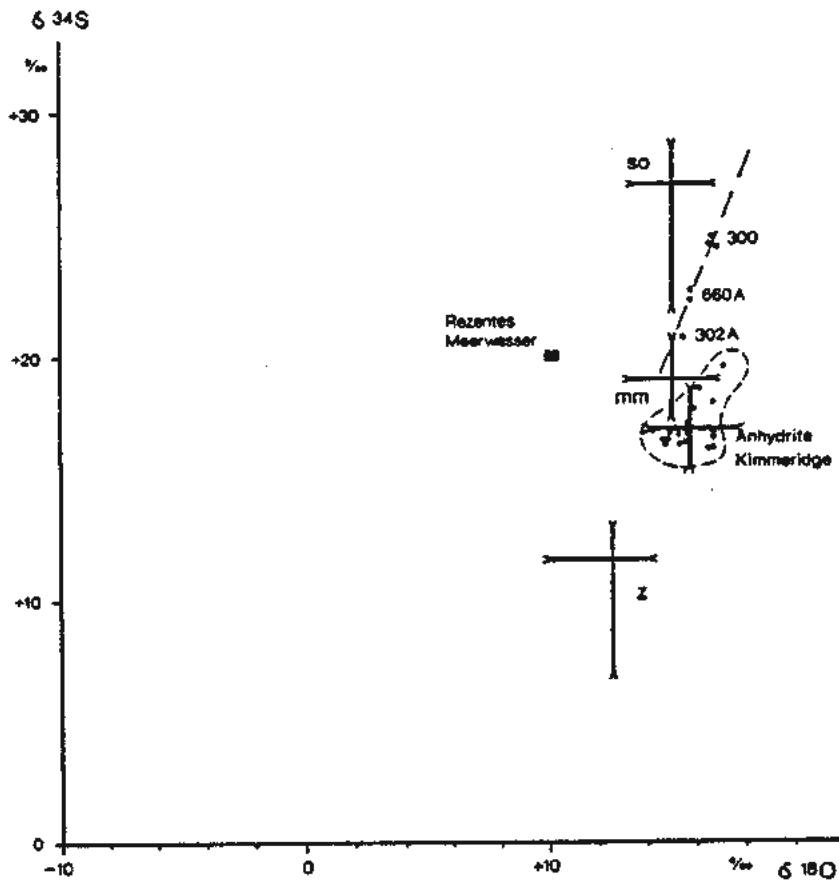


Abb.25: Beziehung delta S-34 und delta O-18 des Sulfatschwefels von Wässern der Grube Konrad und sulfatischen Evaporiten.

Von den analysierten Konrad-Wässern fallen 2 Wässer in den randlichen Bereich des Rötsalinar-Feldes, während die dritte Probe am äußersten Rand des Muschelkalk-Feldes liegt. Es zeigt sich - unter dem Vorbehalt der geringen Zahl an Analysen - ferner, daß sich die Analysenpunkte der Formationswässer entlang einer Geraden gruppieren, deren Steigung bei etwa 2,5 liegt, was nach [redacted] (1987) und [redacted] et al. (1987) darauf hindeutet, daß die Sulfat-Isotopenverhältnisse der Wässer durch bakterielle Tätigkeit verändert wurden.

Hinweise auf bakterielle Sulfatreduktion ergeben sich auch aus Abb. 26, in der die delta S-34-Werte gegen die Sulfatgehalte der Wässer aufgetragen wurden. Das Diagramm zeigt, daß Wässer mit niedrigen Sulfatgehalten durchweg höhere delta S-34-Werte aufweisen als Wässer mit relativ hohen Sulfatgehalten.

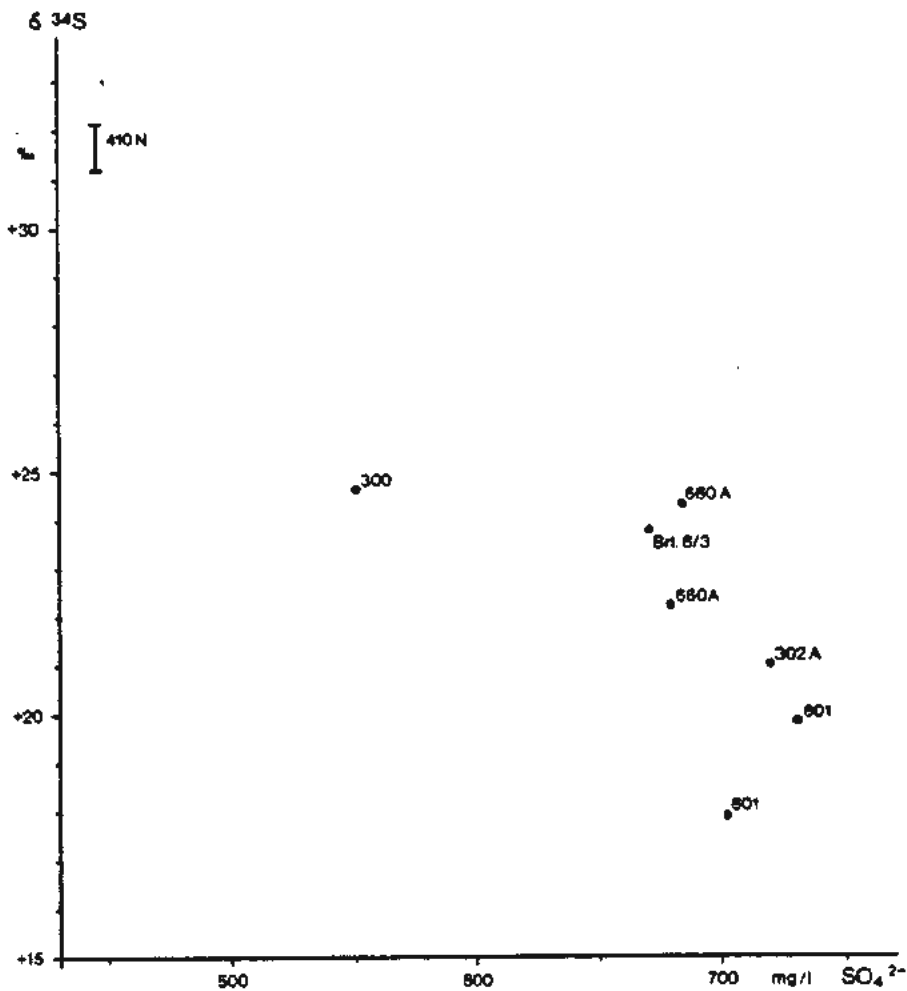


Abb.26: Beziehung zwischen delta S-34 und Sulfat aus Wässern der Grube Konrad.

Noch eindeutigerer Hinweise auf bakteriell gesteuerten Sulfatabbau ergeben sich aus Parallelmessungen an Konrad-Wässern durch das Mineralogische Institut der Universität Clausthal-Zellerfeld (). Dabei wurde neben Wieder-

holungsmessungen an den durch die GSF untersuchten Wässern zusätzlich eine Wasserprobe aus dem Cornbrash an Schacht II der Grube untersucht. An der Probe wurde ein delta S-34-Wert von 40,3 ‰ ermittelt, der damit deutlich über den Maximalwerten des Rötsalinars liegt. Für das Cornbrash-Wasser ist damit zweifelsfrei nachgewiesen, daß die Isotopengehalte des Sulfatschwefels durch Bakterientätigkeit sekundär verändert wurden.

Parallel zu den Isotopenmessungen wurden die Sulfatgehalte naßchemisch durch Fällen als schwerlösliches Bariumsulfat bestimmt. Anhand dieser Analysen ergibt sich eine im Vergleich zu Abb. 24 wesentlich eindeutiger Korrelation zwischen abnehmendem Sulfatgehalt und Anstieg der delta S-34-Werte (pers. Mitt. [REDACTED] 1988).

Zusammenfassend läßt sich daher feststellen, daß die ursprüngliche Isotopenzusammensetzung des Sulfats der Wässer aus der Grube Konrad sekundär durch bakteriell gesteuerte Sulfatreduktion soweit verändert wurde, daß Aussagen zu Herkunft und Genese dieser Wässer anhand der Schwefelisotopenbestimmungen nicht mehr möglich sind.

4.2.2 Deuterium und Sauerstoff-18

Isotopenmessungen der stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 wurden durch die GSF sowie durch [REDACTED] Heidelberg, vorgenommen ([REDACTED] 1988).

In Abb. 27 sind die Analysenergebnisse der Konrad-Wässer in der üblichen Weise dargestellt. Mit enthalten sind die Analysen eines Grundwassers aus Salzgitter-Osterlinde sowie von Wasserproben, die im Verlaufe der Erkundung des Schachtausbaues der Grube Konrad im Bereich der Plänerkalke entnommen wurden.

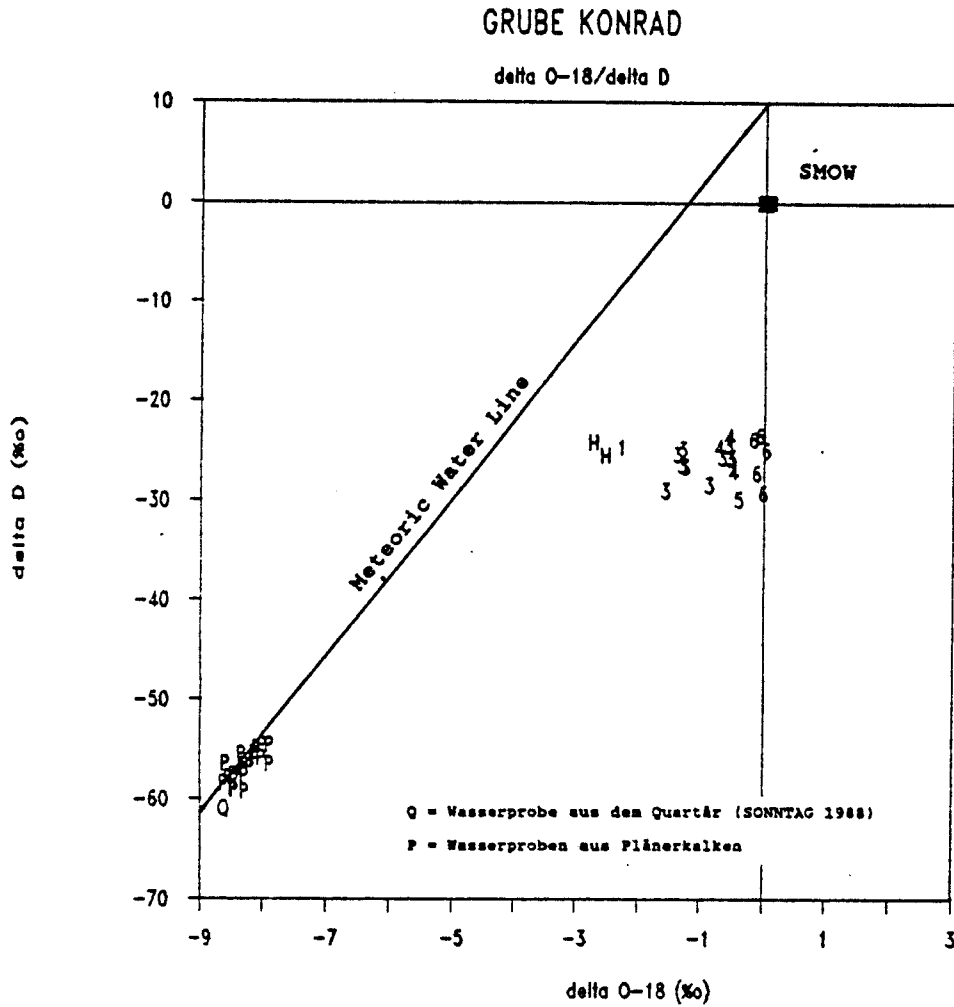


Abb.27: Deuterium und O-18 aus Wässern der Grube Konrad.

Die Datenpunkte des oberflächennahen Grundwassers wie auch der Wässer aus den Plänerkalken befinden sich im Bereich der "Meteoric Water Line", während alle Konrad-Wässer deutlich rechts dieser Linie liegen.

Die Deuterium-Werte zeigen eine nur geringe Schwankungsbreite, dagegen schwanken die Werte für O-18 zwischen -3 und etwa 0 ‰, wobei die delta O-18-Werte kontinuierlich mit zunehmenden Lösungsinhalt bzw. zunehmender Entnahmetiefe ansteigen. Die Ausgleichsgerade hat einen annähernd horizontalen Verlauf.

Tiefenwässer, deren Datenpunkte im Vergleich zur Meteoric Water Line mehr oder weniger deutlich nach rechts verschoben sind, werden in tiefen Sedimentbecken verbreitet angetroffen.

Hinsichtlich ihrer Genese unterscheiden dabei

(1986) folgende Wassertypen (s. auch Kap. 1.2):

a) Tiefenwässer, die aus holozänem meteorischen Wasser hervorgingen

Zum Typus dieser Wässer zählen vor allem Thermalwässer. Die Analysenpunkte der Wässer gruppieren sich entlang einer horizontalen bis subhorizontalen Geraden, deren Schnittpunkt mit der Meteoric Water Line annähernd der Isotopenzusammensetzung lokaler Niederschläge entspricht. Die Intensität des Isotopenaustauschs zwischen Gesteinsmatrix und Wasser, der im wesentlichen auf die Sauerstoffisotope beschränkt bleibt, nimmt mit steigender Temperatur zu. Bei der überwiegenden Zahl der Mineralien wird ein nennenswerter Austausch erst bei Temperaturen oberhalb von 150°C beobachtet. Eine Ausnahme bildet Calcit. et al. (1966) zeigten, daß delta O-18-Werte von Formationswässern im Bereich von -8 bis etwa ± 0 ‰ durch Austausch zwischen Wasser und Calcit bei Temperaturen von 20 bis 50°C erklärt werden können.

b) Tiefenwässer, die aus "alten" meteorischen Wässern entstanden

Vom Typus a) unterscheiden sich diese Wässer insofern, als die Schnittpunkte mit der Meteoric Water Line mehr oder weniger stark von der rezenten lokalen Isotopenzusammensetzung meteorischer Wässer abweicht. Bei rezentem meteorischen Wasser ist mit ansteigenden Temperaturen eine relative Anreicherung an Deuterium und O-18 im Nie-

derschlag verbunden. Übertragen auf die geologische Vergangenheit läßt sich hieraus ableiten, daß beispielsweise eine Verschiebung des Schnittpunktes auf der Meteoritic Water Line nach rechts oben darauf hindeutet, daß dieses Wasser unter wärmeren klimatischen Bedingungen als den gegenwärtig herrschenden gebildet wurde.

c) Fossile Formationswässer ("connate waters")

Dieser Typus von Tiefenwässern findet sich vorwiegend in tiefen Sedimentbecken mit mächtigen Ton- und Siltsteinformationen, in die einzelne relativ geringmächtige Wasserleiter eingeschaltet sind. Die Genese dieser meist hochversalzenen Wässer wird darauf zurückgeführt, daß marine Porenwässer aus den feinkörnigen Sedimenten mit anfänglich hohem Porenvolumen durch Kompaktion der Sedimente im Verlaufe der fortschreitenden Sedimentation in zunehmendem Maße ausgepreßt werden und in überlagernde Wasserleiter migrieren. Infolge von Austauschreaktionen zwischen Wasser und Gesteinsmatrix sowie durch Ionensiebeeffekte verändert sich der geochemische Charakter und Isotopengehalt dieser Wässer in zunehmendem Maße.

Da Gesteinsminerale im Vergleich zum Meerwasser durchgängig am schweren Sauerstoffisotop O-18 angereichert sind, weisen diese Wässer positive delta O-18-Werte auf, während Deuterium andererseits typischerweise abgereichert ist. Daß bei tonigen Sedimenten Austausch von Deuterium in weitaus höherem Maße als bei klastischen Sedimenten stattfindet, wird darauf zurückgeführt, daß Wasserstoff in Tonmineralen in weitaus höherem Maße als in allen anderen Mineralen im Kristallgitter enthalten ist. Aufgrund des im Vergleich zu Meerwasser durchweg geringeren Gehaltes an Deuterium in Tonmineralen führt der Isotopenaustausch zwischen Wasser und Tonmineralen zu einer Anreicherung an Deuterium im Wasser.

Da nach [REDACTED] (1986) davon auszugehen ist, daß die Isotopenzusammensetzung des Meerwassers in den zurückliegenden geologischen Zeiträumen nicht wesentlich von der des rezenten Meerwassers abwich, ergibt sich im $\delta D/\delta O-18$ -Diagramm mit zunehmendem Isotopenaustausch ein Trend der Datenpunkte weg vom SMOW-Wert nach rechts unten. Da entsprechende Ionenaustauschvorgänge erst bei hohen Temperaturen stattfinden, treten Wässer, deren Datenpunkt merklich vom SMOW-Wert abweicht, erst in Tiefen von mehreren tausend Metern auf.

d) Mischwässer

Naturgemäß ist davon auszugehen, das Tiefenwasser neben geochemisch veränderten marinen Porenwässern mehr oder weniger große Anteile von Wasser des meteorischen Kreislaufs enthalten können. Je nach Grad des Ionenaustauschs liegen die Datenpunkte dieser Wässer im $\delta D/\delta O-18$ -Diagramm unterschiedlich weit entfernt rechts der Verbindungslinie zwischen dem Datenpunkt des meteorischen Wassers und dem SMOW-Datenpunkt. Da Wässer, deren Datenpunkte in diesem Bereich liegen, sowohl durch Mischungen von Tiefenwasser marinen Ursprunges und meteorischem Wasser, verbunden mit Sauerstoffisotopenaustausch als auch aus meteorischem Wasser allein erklärt werden können, ist eine eindeutige Zuordnung in vielen Fällen nicht mehr möglich.

[REDACTED] (1986) verweisen in diesem Zusammenhang auf Arbeiten, in denen die Autoren in ihrer Interpretation dieser Wässer zu abweichenden Auffassungen hinsichtlich der Genese dieser Wässer kommen. Sie stellen in diesem Zusammenhang fest, daß "Data on the distribution of oxygen and hydrogen isotopes in formation waters, we believe, are not sufficient by themselves to indicate the origin of these waters".

Aufgrund der paläogeographischen Entwicklung des Raumes Konrad läßt sich nicht von vornherein ausschließen, daß die Konrad-Wässer Anteile sogenannter evaporitischer Restlaugen enthalten. Bei der Verdunstung von Meerwasser reichern sich die schweren Isotope zunächst in der Restlauge an, so daß der $\delta D/\delta O-18$ -Datenpunkt ausgehend vom SMOW-Wert nach oben rechts wegwandert. Es steht also zu erwarten, daß evaporitische Restlaugen positive $\delta O-18$ - und D -Werte aufweisen.

Untersuchungen an Laugenzuflüssen in der Asse bestätigen dies allerdings nur teilweise. Wässer, die als Restlaugeneinschlüsse in Salzen klassifiziert wurden, zeigten durchgängig positive $\delta O-18$ -, aber negative δD -Werte (NISHRI et al. 1988).

Somit besteht also hypothetisch die Möglichkeit, daß die Konrad-Wässer von evaporitischen Restlaugen abstammen. Die deutliche Untersättigung der Konrad-Wässer an $NaCl$ würde allerdings eine anschließende Verdünnung etwaiger Restlaugen durch meteorisches und/oder Meerwasser erfordern.

Hinsichtlich der Genese der Konrad-Wässer lassen sich aus den Ergebnissen der Deuterium- und $O-18$ -Untersuchungen folgende Schlüsse ziehen:

- Die außerordentlich geringe Schwankungsbreite der Deuterium-Gehalte der Wässer einerseits, sowie die zur Tiefe hin zunehmende Anreicherung an $O-18$ in den Wässern andererseits lassen darauf schließen, daß das schwere Sauerstoffisotop in den Wässern durch Isotopenaustausch zwischen Wasser und Calcit angereichert wurde. Dabei besteht eine enge Beziehung zwischen dem Grad des Isotopenaustauschs und der in situ-Temperatur der Wässer.

- Alle untersuchten Proben sind im Vergleich zu rezentem Meerwasser abgereichert an O-18. Da Austauschprozesse zwischen Gesteinsmatrix und Porenwässern ausnahmslos zu einer O-18-Anreicherung führen, läßt sich hieraus ableiten, daß die Konrad-Wässer nicht ausschließlich aus konnatem Meerwasser entstanden sein können.

- Der Schnittpunkt zwischen der Ausgleichsgeraden der Konrad-Wässer und der Meteoric Water Line liegt deutlich oberhalb des Datenpunktes für rezente oberflächennahe Wässer. Setzt man voraus, daß die Konrad-Wässer allein meteorischen Ursprungs sind - eine Hypothese, die anhand der D/O-18-Analysen nicht ausgeschlossen werden kann -, so läßt sich hieraus ableiten, daß die Wässer unter deutlich wärmeren klimatischen Verhältnissen als den heute vorherrschenden gebildet wurden. Nach [REDACTED] (1986) ergäbe sich eine um etwa 6°C erhöhte mittlere Jahrestemperatur. Andererseits erfordert eine meteorische Herkunft der Konrad Wässer wegen der Höhe der Salzgehalte, daß diese Wässer durch Halitablaugung aufgesalzen wurden. Dem steht jedoch der Befund entgegen, daß die Bromid-Gehalte der Konrad Wässer - abgesehen vom Wasser des Hilssandstein - gegen eine Aufsalzung der Wässer durch Salzablaugung sprechen.

- Die Datenpunkte der untersuchten Wässer liegen durchgängig rechts der Verbindungslinie zwischen Meerwasser und rezentem meteorischen Wasser. Somit besteht die Möglichkeit, daß die Genese der Konrad-Wässer auf Mischungsvorgänge zwischen marinen Porenwässern und Wasser aus dem meteorischen Kreislauf, verbunden mit Sauerstoff-Isotopenaustausch zwischen Gesteinsmatrix und Wasser, zurückgeht. Die Höhe der Lösungsinhalte der Wässer würde allerdings eine erhebliche Salzanreicherung der Meerwasser-Mischungskomponente durch Ionensiebefeffekte erfordern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Interpretation der Deuterium- und O-18-Gehalte der Wässer hinsichtlich der Genese der Wässer mehrdeutig ist. Die Analysen ergeben allerdings eindeutige Hinweise darauf, daß die Konrad-Wässer nicht allein aus Meerwasser entstanden sein können, und daß ihre meteorische Komponente in einer weit zurückliegenden Zeit mit wärmerem Klima gebildet wurde.

5 Zusammenfassende Diskussion im Hinblick
auf die Genese der Wässer aus der Grube Konrad

Die Wässer der Grube Konrad lassen sich anhand ihrer geochemischen Zusammensetzung und ihrer Isotopengehalte zusammenfassend folgendermaßen charakterisieren:

Der Lösungsinhalt der Wässer steigt innerhalb der Grube kontinuierlich von 160 g/l in 640 m Tiefe bis auf 220 g/l in 1300 m Tiefe an.

Dominierender Hauptbestandteil der Anionen mit Gehalten von mehr als 99 meq-% ist Chlorid, während sowohl Sulfat, bedingt durch bakteriell gesteuerten Sulfatabbau und - zumindest lokal - durch Ausfällung schwerlöslicher Sulfate, als auch Karbonat Spurenstoffe sind.

Die Wässer sind typische Calcium-Chlorid-Austauschwässer, deren hohe Gehalte an Calcium überschüssigen Chlorid-Ionen gegenüberstehen. Die Untersättigung an Natrium liegt bei 15 bis 30 meq-%.

Adsorption und diagenetische Mineralneubildungen führten zur Abreicherung von Kalium und Magnesium, während andererseits die Anreicherung von Strontium in den Wässern in Zusammenhang mit der Umbildung von Aragonit zu Calcit im Frühstadium der Diagenese zu sehen ist.

Abbau von organischer Substanz, vermutlich durch Bakterientätigkeit hervorgerufen, führte zur Anreicherung von Jodid in den Wässern.

Überwiegend auf Bakterientätigkeit geht auch die Methanführung einzelner Wässer zurück. Daneben enthalten diese Gase in geringen Anteilen Stickstoff, Kohlendioxid und auch thermisch gebildetes Methan.

Lithium, Rubidium, Bor und Brom zählen zu den Elementen, die sich bei der Evaporation von Meerwasser in den Restlaugen anreichern und damit in Evaporiten im Vergleich zu Meerwasser abgereichert sind. Die Konzentrationen ihrer Ionen in Tiefenwässern können daher Aufschluß über deren Genese geben.

Für Lithium, Rubidium und Bor läßt sich in den Konrad-Wässern keine eindeutige Tendenz erkennen.

Rubidium ist in den Wässern relativ zum Meerwasser sowohl an- als auch abgereichert.

Das Äquivalentverhältnis Lithium/Chlorid liegt in den Wässern um den Faktor 2 bis 4 höher als im Meerwasser, während das entsprechende Bor-Äquivalentverhältnis im Vergleich zum Meerwasser geringfügig erniedrigt ist. Zu vermuten ist, daß die Konzentrationen dieser Ionen sekundär durch Wechselwirkungen zwischen Wasser und Gesteinsmatrix verändert wurden.

Das Äquivalentverhältnis Bromid zu Chlorid liegt im Hilssandstein-Wasser geringfügig niedriger als im Meerwasser, in den Korallenoolith-Wässern deutlich höher als im Meerwasser, wobei die Bromidgehalte mit zunehmendem Lösungsinhalt der Wässer relativ zu Chlorid ansteigen.

Ablaugungswässer aus dem Bereich von Salzstöcken weisen durchschnittlich um 1 Größenordnung niedrigere Bromid-Chlorid-Äquivalentverhältnisse auf. Hieraus läßt sich ableiten, daß das Wasser des Hilssandstein in gewissem Umfang Ablaugungswasser enthält, während die Korallenoolith-Wässer eindeutig als Wässer mariner Herkunft einzustufen sind.

Weniger einfach ist dagegen der Befund zu deuten, daß die Wässer des Korallenoolith im Vergleich zum Meerwasser deutlich an Bromid angereichert sind:

Aus der Literatur ist bekannt, daß marine Organismen neben Jodid in beschränktem Maße auch Bromid selektiv anreichern. Der Abbau organischer Substanz in Sedimenten könnte daher neben der Zufuhr von Jodid auch zu einer Bromidanreicherung im Porenwasser geführt haben.

Denkbar ist auch, daß Bromid im Vergleich zu Chlorid bei der Passage durch tonige Sedimente wegen seines größeren Ionenradius selektiv zurückgehalten wird. Hierfür spricht der Befund, daß das Bromid/Chlorid-Verhältnis in den Wässern mit der Tiefe ansteigt.

Da Bromid bei der Eindampfung von Meerwasser mit Beginn der Halit-Ausscheidung in der Lauge angereichert wird, besteht hypothetisch die Möglichkeit, daß die Wässer des Korallenoolith evaporitischen Restlaugen entstammen. Die Untersättigung an NaCl erfordert allerdings eine nachträgliche Verdünnung der Wässer.

Für diese Hypothese sprechen auch die Deuterium- und O-18-Gehalte der Wässer, die mit relativ großer Sicherheit darauf hindeuten, daß diese aus Mischungen von Wässern marinen und meteorischen Ursprungs entstanden sind.

Allerdings kann die Herkunft solcher evaporitischer Restlaugen nicht ohne weiteres bestimmt werden. Die Annahme einer Migration entsprechender Laugen aus Evaporiten des Zechstein oder der Trias im Liegenden der Grube durch die mächtigen Tonsteinformationen des Jura ist schon deshalb nicht wahrscheinlich, weil entsprechende Wässer bei ihrer Passage durch die Tonsteine in ihrem Chemismus stark verändert würden.

Denkbar wäre allenfalls, daß im Verlaufe des obersten Jura, während dessen es in Teilbereichen des Niedersächsischen Beckens zur Ausscheidung von Evaporiten kam, auch im Raum Konrad hypersaline Verhältnisse herrschten. Da der Korallen-

oolith östlich der Grube in dieser Periode mit der Oberfläche in Kontakt stand, erscheint es nicht von vornherein abwegig, ein Eindringen hypersaliner Lösungen in die Formation zu unterstellen, die dann in der nachfolgenden festländischen Periode im Wealden durch die Zumischung meteorischer Wässer verdünnt wurden.

Das vermutliche hohe Alter der Wässer von mehreren Millionen bis Zehnermillionen Jahren schließt dies nicht grundsätzlich aus.

An dieser Stelle ist allerdings zu fragen, wie aussagekräftig die Bromidkonzentrationen in bezug auf die Genese der Wässer sein können. Da eine sekundäre Anreicherung von Bromid durch Freisetzung aus organischer Substanz ebenso wie eine selektive Bromidanreicherung durch Ionensiebeffekte nicht grundsätzlich auszuschließen ist, erscheint uns eine belastbare Interpretation nur insoweit möglich, als die Bromidgehalte auf eine überwiegend marine, connate oder hypersaline Herkunft der Wässer hindeuten, eine Zumischung geringer Anteile von Wässern mit abweichender Genese, auch von Ablaugungswässern meteorischer Herkunft, jedoch nicht auszuschließen ist.

Im Plan Konrad wurde festgestellt: Ob es sich bei den Wässern des tieferen Untergrundes ausschließlich um Formationswässer handelt oder ob der Salzgehalt zusätzlich durch Ablaugung der benachbarten Salzstöcke erhöht wurde, ist nach den vorliegenden Untersuchungen nicht feststellbar. Sicher ist jedoch, daß die Mineralisation nicht nur von den Salzstöcken stammt. Diese Aussage behält auch weiterhin ihre Gültigkeit.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

In Auftrag

Sachbearbeiter



6 Literaturverzeichnis

- BREDEHOEFT, J.O.; BLYTH, C.R.; WHITE, W.A. & MAXEY, G.B.
(1963): Possible mechanism for concentration of
brines in subsurface formation. - Bull. Am. Assoc.
Petrol. Geologists, 47, S.257-269; Tulsa.
- BROWNLAW, A.H. (1979): Geochemistry - Prentice-Hall, Inc.,
Englewood Cliffs.
- COLLINS, A.G. (1975): Geochemistry of oilfield waters -
Elsevier; Amsterdam.
- CLAYPOOL, E.G., HOLSER, T.W., KAPLAN, I.R., SAKAI, H.,
ZAK, I. (1980): The age curves of sulfur and oxygen
isotopes in marine sulfate and their mutual interpre-
tation. - Chem. Geol., 28, 199-260.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, I. (1971): An introduction
to the rock-forming minerals. - Longman Ltd.; London.
- DVWK (1988): Bedeutung biologischer Vorgänge für die Beschaf-
fenheit des Grundwassers. - Schriftenreihe des DVWK,
H.80, Verlag Parey; Hamburg, Berlin.
- EDMUNDS, W.M.; KAY, R.L.F.; MILES, D.L. & COOK, J.M. (1987):
The origin of saline groundwaters in the Carnmellis
granite, Cornwall (U.K.): further evidence from minor
and trace elements. - In: FRITZ, P. & FRAPE, S.K.
(eds.): Saline water and gases in crystalline rocks.-
Geol. Assoc. Canada Spec. Paper 33: 127-143.
- ENGELHARDT, von W. (1973): Die Bildung von Sedimenten und
Sedimentgesteinen. - Sediment-Petrographie (Hrsg.
W.v.ENGELHARDT, H. FÜCHTBAUER, G. MÜLLER), Teil III,
Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

FABER, E. & GERLING, P. (1985): Bericht über Isotopenuntersuchungen an Gasen - Grube Konrad. - 7 S., unveröff. Ber., BGR, Arch.-Nr. 104433, Hannover.

GSF (1988): Das HAW-Projekt. - Demonstrationseinlagerung hochaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse. - Zwischenbericht 1985 - 1988. GSF-Bericht 10/88, Braunschweig.

HAHN, J. (1972): Diagenetisch bedingte Veränderungen im Chemismus intrudierter Meerwasser und ihre Beziehungen zum Chemismus von Tiefenwässern in Norddeutschland. - Geol. Jb. 90, S.245-264.

KHARAKA, Y.K.; CAROTHERS, W.W. (1986): Oxygen and hydrogen isotope geochemistry of deep basin brines. - Aus: Handbook of environmental isotope geochemistry, Vol.2, The Terrestrial Environment, B - (Hrsg. FRITZ, P. & FONTES, J.CH.); Elsevier, Amsterdam.

MASON, B. u. MOORE, C.B. (1975): Grundzüge der Geochemie - übersetzt und bearbeitet von Gerd Hintermaier-Erhard; Verlag Ferd. Enke; Stuttgart.

MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers - Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2, Gebrüder Bornträger; Berlin.

MICHELOT, J.-L., BENTLEY, H.W., BRISSAND, I., ELMORE, D. & FONTES, J.-Ch. (1984): Progress in environmental isotope studies (Cl-36, S-34, O-18) at the Stripa site. - in: Isotope Hydrology 1983, IAEA-SM 270/60, 207-228.

MICHELOT, J.-L. & FONTES, J.-Ch. (1987): Two case studies on the origin of aqueous sulphate in deep crystalline rocks. - in: Studies on sulphur isotope variations in nature, proceedings of an advisory group meeting on studies on sulphur isotope variations in nature. IAEA, 65-75.

- MÜLLER, P.E. (1969): Zur Geochemie der Tiefenwässer und der organischen Substanz im Nordteil der DDR. - Z. f. Angew. Geol. 15, H.3/69, S.113-123.
- NIELSEN, H. & RAMBOW, D. (1969): S-Isotopenuntersuchungen an Sulfaten hessischer Mineralwässer. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 97, 352-366.
- NISHRI, A.; HERBERT, H.J.; JOCKWER, N. & STICHLER, W. (1988): The geochemistry of brines and minerals from the Asse Salt Mine, Germany. - Applied Geochemistry Vol.3, S.317-332.
- PILOT, J., RÖSLER, H.J., MÜLLER, P. (1972): Zur geochemischen Entwicklung des Meerwassers und mariner Sedimente im Phanerozoikum mittels Untersuchungen von S-, O- und C-Isotopen. - Neue Bergbautechnik, 2. Jahrg., 3, 161-168.
- PUCHELT, H. u. NIELSEN, H. (1967): Untersuchungen über die Verteilung der Schwefelisotope in den Grubenwässern des Ruhrreviers. - Glückauf-Forschungshefte, 28. Jahrg., 6, 303-310.
- SONNTAG, C. (1988): Isotopenuntersuchungen an tiefen Grundwässern aus der Schachtanlage Konrad/Salzgitter. - Unveröff. PTB-Bericht, 23 S., Eppelheim.
- VOIGT, H.J. (1977): Zur Geochemie der Spurenelemente Brom, Jod, Bor, Strontium und Lithium in Mineralwässern des Nordteils der DDR. - Z. f. Angew. Geol. 23, H.8/77, S.395-402.

ANHANG 1

Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad

Anhang 1a: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Entnahmedatum	Dichte [g/cm ³]	el. Leitfähigkeit [µS/cm]	Temperatur [°C]	pH-Wert	Redoxpotential [mV]	Abdampfrückstand [mg/l]	Gesamt-rückstand [mg/l]	Nichtkarbonathärte [°dH]	Karbonathärte [°dH]	Gesamthärte [°dH]
Ort 101	16.12.1984	1.114	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	177075	1457	N.D.	N.D.
Ort 101 N	12.03.1985	1.111	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	197680	175203	1592	N.D.	N.D.
Ort 101 M	16.04.1985	1.121	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	207040	191184	1784	N.D.	N.D.
Ort 202	17.01.1986	1.115	N.D.	36.0	N.D.	N.D.	200000	183542	1716	N.D.	N.D.
Ort 203	02.07.1986	1.126	166.9	30.5	6.2	-33	210800	188092	2036	N.D.	N.D.
Ort 300	03.07.1984	1.120	N.D.	41.6	N.D.	N.D.	207760	192106	1988	N.D.	N.D.
Ort 300	25.10.1984	1.121	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	204760	188703	1807	N.D.	N.D.
Ort 300	18.01.1985	N.D.	N.D.	40.8	N.D.	N.D.	N.D.	191630	2063	N.D.	N.D.
Ort 300	19.01.1985	1.125	168.0	41.5	6.0	N.D.	212600	194953	2140	2.8	2143
Ort 300	21.01.1985	1.116	N.D.	41.6	N.D.	N.D.	208320	191578	1976	N.D.	N.D.
Ort 300	22.01.1985	1.116	N.D.	43.6	N.D.	N.D.	N.D.	189362	2017	N.D.	N.D.
Ort 300	23.01.1985	1.121	N.D.	43.6	N.D.	N.D.	N.D.	190307	2002	N.D.	N.D.
Ort 300	24.01.1985	1.121	N.D.	43.6	N.D.	N.D.	N.D.	189999	1935	N.D.	N.D.
Ort 300	15.02.1985	1.121	N.D.	42.1	5.9	N.D.	N.D.	190075	1839	2.7	1842
Ort 300	19.03.1985	1.119	125.2	41.8	6.0	+99	209520	192567	2002	2.3	2004
Ort 300	25.03.1985	1.119	119.0	41.2	6.0	+105	214040	190850	1996	2.7	1999
Ort 300	24.11.1986	1.121	181.7	39.8	6.0	-55	207100	189401	1973	3.0	1977
Ort 300	12.05.1987	1.120	N.D.	38.9	6.2	-67	209000	193193	2045	1.5	2046
Ort 300	14.05.1987	1.117	195.0	39.9	6.7	-72	209500	189000	2022	2.1	2024
Ort 300	18.05.1987	1.120	N.D.	40.0	6.0	-75	209400	194013	2022	2.9	2025
Ort 302 A	12.02.1987	1.129	158.5	29.7	6.3	-58	217700	191184	2084	N.D.	N.D.
Ort 302 A Querschlag	19.01.1987	1.122	N.D.	40.3	N.D.	N.D.	214500	189633	2105	N.D.	N.D.
Ort 400 A	06.10.1986	1.120	N.D.	35.0	N.D.	N.D.	222700	200022	2169	5.5	2175
Ort 410 N	08.02.1985	1.120	N.D.	41.5	N.D.	N.D.	N.D.	188531	1876	N.D.	N.D.
Ort 410 N	22.03.1985	1.118	N.D.	41.9	N.D.	N.D.	N.D.	187674	1850	N.D.	N.D.
Ort 410 N	25.03.1985	1.119	122.5	41.5	6.0	+114	208150	189648	1917	2.4	1919
Ort 410 N	17.04.1985	1.134	161.0	36.3	6.3	+124	214400	193021	1899	1.6	1900
Ort 410 N	02.10.1985	1.126	181.3	34.6	5.4	N.D.	209700	191099	1891	0.6	1892
Brl. 5/96	06.09.1984	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	218152	2662	N.D.	N.D.
Ort 600	11.01.1985	1.111	N.D.	50.2	N.D.	N.D.	240200	220015	2590	N.D.	N.D.
Ort 601	24.02.1987	1.151	166.0	41.0	5.4	+23	263200	224575	2738	N.D.	N.D.
Ort 601	11.01.1985	1.138	N.D.	N.D.	5.6	N.D.	240800	219650	2777	N.D.	N.D.
Ort 601	29.03.1985	1.144	N.D.	40.0	N.D.	N.D.	N.D.	220540	2514	N.D.	N.D.
Ort 660 A	14.10.1983	1.147	168.0	N.D.	5.5	+253	N.D.	220311	2771	0.9	2771
Ort 660 A	24.10.1983	1.143	172.0	N.D.	4.9	N.D.	N.D.	217002	2532	0.9	2533
Ort 660 A	25.10.1983	1.133	165.0	48.9	5.9	+255	N.D.	212674	2663	2.0	2665
Ort 660 A	25.10.1983	1.144	159.0	25.0	5.1	N.D.	N.D.	217799	2484	0.7	2485
Ort 660 A	27.10.1983	1.144	159.0	25.0	5.3	N.D.	N.D.	215431	2451	1.6	2452
Ort 660 A	31.10.1983	1.143	164.0	25.0	5.5	N.D.	N.D.	214614	2405	2.2	2407
Ort 660 A	07.12.1983	1.140	157.0	46.5	5.7	+229	N.D.	213575	2543	1.6	2544
Ort 660 A	02.10.1985	1.140	189.9	33.7	5.4	+216	236400	213969	2527	0.2	2527
Ort 660 A	19.05.1987	1.135	195.7	36.1	5.6	+31	231100	214714	2530	1.7	2540
Ort 660 A Brl. 6/1	28.10.1983	1.143	164.0	N.D.	5.4	N.D.	N.D.	213570	2424	1.0	2426
Ort 660 A Brl. 6/1	17.11.1983	1.160	159.5	N.D.	5.8	N.D.	N.D.	214437	2280	2.5	2283
Ort 660 A Brl. 6/1	23.11.1983	1.143	147.5	N.D.	5.8	N.D.	N.D.	215544	2376	1.4	2377
Ort 660 A Brl. 6/1	25.11.1983	1.120	148.1	N.D.	5.3	+260	N.D.	216726	2374	0.8	2375
Ort 660 A Brl. 6/3	17.11.1983	1.142	154.6	N.D.	5.7	N.D.	N.D.	213446	2279	2.2	2281
Ort 660 A Brl. 6/3	21.11.1983	1.142	152.7	N.D.	5.7	N.D.	N.D.	215168	2391	2.0	2393
Ort 660 A Brl. 6/3	23.11.1983	1.143	148.1	N.D.	5.9	N.D.	N.D.	214293	2364	1.9	2366
Ort 660 A Brl. 6/3	28.11.1983	1.129	148.1	N.D.	5.9	+259	N.D.	214704	2346	0.8	2347
Ort 660 A Brl. 6/3	02.12.1983	1.140	163.0	46.9	5.4	+235	N.D.	215157	2582	1.2	2583

Anhang 1b: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Na+	Na+	Na+	K+	K+	K+	Li+	Li+	Li+	Str++	Str++	Str++	Ca++	Ca++	Ca++	Mg++	Mg++	Mg++
	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]
Ort 101	58621	2549	82.9	163	4.17	0.1	1.52	0.22	0.0	606	13.83	0.5	7468	372.65	12.1	1628	133.93	4.4
Ort 101 M	54908	2388	80.6	168	4.29	0.1	1.61	0.23	0.0	477	10.89	0.4	8189	408.63	13.8	1813	149.13	5.0
Ort 101 N	61016	2653	80.5	208	5.32	0.2	1.66	0.24	0.0	524	11.95	0.4	9462	472.17	14.3	1860	153.04	4.6
Ort 202	58503	2544	80.4	189	4.84	0.2	2.26	0.33	0.0	291	6.65	0.2	9013	449.76	14.2	1903	156.52	4.9
Ort 203	57589	2504	77.3	214	5.47	0.2	3.52	0.51	0.0	252	5.75	0.2	10717	534.78	16.5	2267	186.47	5.8
Ort 300	58050	2524	77.8	257	6.58	0.2	3.97	0.57	0.0	238	5.43	0.2	10645	531.18	16.4	2108	173.42	5.3
Ort 300	57713	2510	79.4	248	6.34	0.2	3.14	0.45	0.0	261	5.96	0.2	9664	482.24	15.2	1908	156.99	5.0
Ort 300	59409	2583	77.7	202	5.16	0.2	2.39	0.34	0.0	N.D.	N.D.	0.3	11034	550.59	16.6	2261	185.98	5.6
Ort 300	61778	2686	77.6	286	7.31	0.2	3.37	0.49	0.0	487	11.11	0.3	11349	566.32	16.4	2270	186.78	5.4
Ort 300	59585	2591	78.4	225	5.74	0.2	2.50	0.36	0.0	455	10.39	0.3	10642	531.05	16.1	1997	164.32	5.0
Ort 300	58201	2531	77.7	217	5.55	0.2	2.62	0.38	0.0	N.D.	N.D.	0.3	10793	538.58	16.5	2210	181.81	5.6
Ort 300	58581	2547	77.9	220	5.64	0.2	2.63	0.38	0.0	N.D.	N.D.	0.3	10740	535.93	16.4	2174	178.89	5.5
Ort 300	58284	2534	78.4	227	5.80	0.2	2.63	0.38	0.0	N.D.	N.D.	0.3	10363	517.09	16.0	2115	173.99	5.4
Ort 300	60061	2612	79.7	320	8.18	0.2	3.31	0.48	0.0	N.D.	N.D.	0.3	9644	481.21	14.7	2133	175.52	5.4
Ort 300	59309	2579	78.1	220	5.63	0.2	2.52	0.36	0.0	466	10.64	0.3	10744	536.13	16.2	2044	168.17	5.1
Ort 300	57876	2517	77.7	252	6.44	0.2	2.79	0.40	0.0	423	9.65	0.3	10615	529.69	16.4	2110	173.57	5.4
Ort 300	58750	2555	78.2	234	5.98	0.2	2.76	0.40	0.0	451	10.29	0.3	10354	516.67	15.8	2161	177.82	5.4
Ort 300	59160	2573	77.7	233	5.95	0.2	2.81	0.40	0.0	498	11.37	0.3	10642	531.04	16.0	2283	187.83	5.7
Ort 300	58577	2547	77.7	237	6.07	0.2	2.81	0.40	0.0	494	11.27	0.3	10532	525.55	16.0	2251	185.22	5.6
Ort 300	59812	2601	78.1	237	6.05	0.2	2.85	0.41	0.0	499	11.39	0.3	10551	526.50	15.8	2239	184.20	5.5
Ort 302 A	58413	2540	77.2	240	6.15	0.2	3.17	0.46	0.0	331	7.56	0.2	10054	541.62	16.5	2370	195.01	5.9
Ort 302 A Querschlag	57678	2508	76.7	233	5.95	0.2	3.27	0.47	0.0	263	6.01	0.2	11030	550.40	16.8	2375	195.42	6.0
Ort 400 A	60850	2646	77.2	226	5.79	0.2	3.14	0.45	0.0	342	7.81	0.2	11512	574.45	16.8	2339	192.46	5.6
Ort 410 M	58182	2530	78.9	289	7.39	0.2	2.97	0.43	0.0	N.D.	N.D.	0.3	9851	491.57	15.3	2169	178.46	5.6
Ort 410 M	58525	2545	79.2	245	6.26	0.2	2.66	0.38	0.0	N.D.	N.D.	0.3	9872	492.62	15.3	2042	167.97	5.2
Ort 410 M	59164	2573	78.8	219	5.60	0.2	2.46	0.35	0.0	531	12.13	0.4	10132	505.57	15.5	2027	166.73	5.1
Ort 410 M	59999	2609	79.2	219	5.59	0.2	2.50	0.36	0.0	576	13.15	0.4	9716	484.84	14.7	2189	180.07	5.5
Ort 410 M	59197	2574	79.1	223	5.70	0.2	2.67	0.38	0.0	499	11.39	0.3	10060	502.00	15.4	1970	162.08	5.0
Brl. 5/96	63460	2760	74.2	352	9.00	0.2	3.83	0.55	0.0	N.D.	N.D.	0.3	14524	724.77	19.5	2745	225.84	6.1
Ort 600	65002	2827	75.1	237	6.07	0.2	3.99	0.57	0.0	381	8.70	0.2	13914	694.30	18.5	2700	222.11	5.9
Ort 601	66423	2888	74.5	260	6.64	0.2	3.66	0.53	0.0	377	8.61	0.2	14370	717.07	18.5	3064	252.04	6.5
Ort 601	64990	2826	73.8	292	7.46	0.2	4.17	0.60	0.0	403	9.20	0.2	14818	739.41	19.3	2957	243.27	6.4
Ort 601	67153	2920	76.4	243	6.22	0.2	4.43	0.64	0.0	N.D.	N.D.	0.3	13413	669.33	17.5	2775	228.32	6.0
Ort 600 A	63952	2781	73.7	203	5.18	0.1	1.01	0.15	0.0	N.D.	N.D.	0.3	16601	828.38	21.9	1958	161.05	4.3
Ort 600 A	66851	2907	75.9	543	13.90	0.4	3.60	0.53	0.0	413	9.44	0.2	13413	669.33	17.5	2743	225.64	5.9
Ort 600 A	61545	2676	73.6	263	6.72	0.2	4.02	0.58	0.0	N.D.	N.D.	0.3	14862	741.60	20.4	2546	209.49	5.8
Ort 600 A	67637	2941	76.4	596	15.25	0.4	4.79	0.69	0.0	427	9.74	0.3	13074	652.40	17.0	2735	224.98	5.8
Ort 600 A	65453	2846	76.1	621	15.89	0.4	4.70	0.68	0.0	409	9.33	0.2	12848	641.12	17.1	2731	224.71	6.0
Ort 600 A	65817	2862	76.7	165	4.22	0.1	4.24	0.61	0.0	402	9.17	0.2	12585	627.99	16.8	2694	221.65	5.9
Ort 600 A	63473	2760	75.1	273	6.98	0.2	1.90	0.27	0.0	N.D.	N.D.	0.3	14020	699.61	19.0	2534	208.50	5.7
Ort 600 A	64312	2797	75.4	224	5.72	0.2	3.68	0.53	0.0	333	7.60	0.2	13789	688.07	18.6	2514	206.79	5.6
Ort 600 A	64429	2802	75.4	233	5.97	0.2	3.60	0.52	0.0	382	8.71	0.2	13477	672.50	18.1	2739	225.32	6.1
Ort 600 A Brl. 6/1	64782	2817	76.2	387	9.90	0.3	4.56	0.66	0.0	407	9.29	0.3	12764	636.93	17.2	2669	219.61	5.9
Ort 600 A Brl. 6/1	64689	2813	77.2	503	12.86	0.4	4.12	0.59	0.0	403	9.19	0.3	11956	596.61	16.4	2535	208.57	5.7
Ort 600 A Brl. 6/1	64367	2799	76.4	505	12.91	0.4	4.51	0.65	0.0	410	9.36	0.3	12645	630.99	17.2	2529	208.02	5.7
Ort 600 A Brl. 6/1	65341	2841	76.6	687	17.56	0.5	4.32	0.62	0.0	406	9.27	0.3	11996	598.60	16.1	2917	239.99	6.5
Ort 600 A Brl. 6/3	64711	2814	77.2	501	12.82	0.4	4.46	0.64	0.0	417	9.51	0.3	12089	603.24	16.6	2446	201.22	5.5
Ort 600 A Brl. 6/3	64134	2789	76.2	545	13.94	0.4	4.35	0.63	0.0	419	9.56	0.3	12747	636.00	17.4	2531	208.22	5.7
Ort 600 A Brl. 6/3	64828	2819	76.6	520	13.30	0.4	4.44	0.64	0.0	431	9.83	0.3	12465	622.01	16.9	2583	212.49	5.8
Ort 600 A Brl. 6/3	65415	2845	76.8	680	17.38	0.5	4.16	0.60	0.0	418	9.54	0.3	12123	604.94	16.3	2713	223.22	6.0
Ort 600 A Brl. 6/3	64719	2814	75.2	243	6.23	0.2	1.95	0.28	0.0	N.D.	N.D.	0.3	14222	709.69	19.0	2582	212.45	5.7

Anhang 1c: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Cl-	Cl-	Cl-	SO4--	SO4--	SO4--	HCO3-	HCO3-	HCO3-	CO3--	CO2	CO2	Fe++	Mn++	Al+++	Si
	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mg-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mol/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Ort 101	107646	3035.71	99.6	411	8.55	0.3	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	36.1	1.57	1.43	5.74
Ort 101 N	108349	3055.52	99.3	695	14.47	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	38.15	4.01	0.56	5.76
Ort 101 M	116345	3281.03	99.1	1145	23.83	0.7	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	5.85	1.55	0.35	4.39
Ort 202	112477	3171.94	99.4	713	14.83	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	20.2	1.30	1.66	4.41
Ort 203	115301	3251.59	99.1	974	20.27	0.6	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	20.0	<0.06	8.67	6.62
Ort 300	118973	3355.13	99.1	968	20.16	0.6	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	48.26	N.D.	N.D.	8.27
Ort 300	117307	3308.15	99.3	774	16.12	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	30.88	N.D.	N.D.	4.59
Ort 300	118102	3330.58	99.6	620	12.91	0.4	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 300	117326	3308.70	99.4	600	12.49	0.4	60	0.99	0.0	0	130	2.96	73.96	N.D.	3.23	5.46
Ort 300	117193	3304.93	99.4	575	11.96	0.4	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	84.20	1.47	6.23	6.04
Ort 300	117147	3303.65	99.5	791	16.46	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 300	117781	3321.52	99.5	807	16.00	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 300	118271	3335.33	99.5	738	15.36	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 300	117251	3306.58	99.6	604	12.57	0.4	59	0.97	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 300	118229	3334.14	99.4	570	11.86	0.4	49	0.81	0.0	0	0	0.00	97.32	1.27	0.76	6.45
Ort 300	117963	3326.64	99.3	708	14.75	0.4	58	0.95	0.0	0	0	0.00	55.93	1.26	<0.18	6.94
Ort 300	116006	3271.45	99.4	511	10.63	0.3	66	1.08	0.0	0	0	0.00	62.7	<0.06	7.75	6.41
Ort 300	118794	3350.09	99.4	551	11.47	0.3	32	0.53	0.0	0	0	0.00	93.4	2.24	4.09	3.76
Ort 300	116158	3275.74	99.4	548	11.40	0.3	45	0.73	0.0	0	0	0.00	97.9	2.23	4.16	4.12
Ort 300	119151	3360.14	99.4	499	10.39	0.3	63	1.03	0.0	0	0	0.00	66.5	2.22	3.96	3.64
Ort 302 A	117414	3311.16	99.3	725	15.00	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	27.9	<0.06	7.94	6.13
Ort 302 A Querschlag	116358	3281.38	99.2	831	17.30	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	43.4	<0.06	8.19	6.66
Ort 400 A	123047	3470.02	99.3	655	13.63	0.4	119	1.94	0.1	0	0	0.00	53.5	<0.06	8.52	6.97
Ort 410 N	117489	3313.29	99.7	548	11.40	0.3	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 410 M	116422	3283.19	99.6	566	11.78	0.4	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 410 M	116242	3278.12	99.5	442	9.20	0.3	52	0.85	0.0	0	0	0.00	57.71	1.79	0.76	6.31
Ort 410 M	119420	3367.74	99.6	438	9.12	0.3	35	0.57	0.0	0	141	3.20	19.07	2.20	1.80	<0.38
Ort 410 M	117951	3326.32	99.5	446	9.29	0.3	14	0.23	0.0	0	0	0.00	13.77	2.20	<0.18	2.33
Brl. 5/96	135781	3829.13	99.3	1278	26.60	0.7	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 600	135852	3831.14	99.3	709	14.76	0.4	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	100.50	1.61	0.92	8.12
Ort 601	138186	3896.95	99.3	653	13.58	0.3	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	144	<0.06	9.56	7.01
Ort 601	134330	3788.22	99.3	741	15.43	0.4	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	78.99	N.D.	4.20	7.44
Ort 601	136049	3836.70	99.5	910	18.94	0.5	N.D.	N.D.		N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	136331	3844.63	99.4	663	13.79	0.4	19	0.30	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	130869	3690.60	99.1	953	19.84	0.5	20	0.33	0.0	0	0	0.00	100.88	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	132114	3725.73	99.4	706	14.69	0.4	43	0.71	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	131224	3700.63	99.2	960	19.99	0.5	15	0.25	0.0	0	0	0.00	96.76	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	131224	3700.63	99.1	975	20.30	0.5	35	0.57	0.0	0	0	0.00	92.12	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	130869	3690.60	99.2	859	17.89	0.5	48	0.79	0.0	0	0	0.00	95.36	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	131750	3715.44	99.3	665	13.85	0.4	34	0.56	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A	131051	3695.73	99.3	703	14.62	0.4	3	0.06	0.0	0	0	0.00	37.53	2.17	<0.18	3.90
Ort 660 A	131586	3710.83	99.3	682	14.19	0.4	38	0.62	0.0	0	0	0.00	54.4	3.00	4.63	5.46
Ort 660 A Brl. 6/1	130513	3680.58	99.2	875	18.21	0.5	40	0.66	0.0	0	0	0.00	91.49	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/1	132253	3729.64	99.2	975	20.30	0.5	54	0.88	0.0	0	0	0.00	89.17	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/1	132962	3749.63	99.1	1041	21.67	0.6	30	0.49	0.0	0	0	0.00	88.93	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/1	133388	3761.63	99.2	968	20.14	0.5	17	0.28	0.0	0	0	0.00	83.16	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131189	3699.64	99.1	987	20.54	0.6	48	0.78	0.0	0	0	0.00	92.2	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	132962	3749.63	99.2	990	20.60	0.5	45	0.73	0.0	0	0	0.00	84.4	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131289	3702.46	99.1	1013	21.00	0.6	42	0.69	0.0	0	0	0.00	92.3	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131281	3702.24	99.1	1018	21.20	0.6	18	0.30	0.0	0	0	0.00	89.0	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131750	3715.44	99.3	713	14.84	0.4	25	0.42	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Anhang 1d: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Zn ⁺⁺ [mg/l]	Ba ⁺⁺ [mg/l]	Rb ⁺ [mg/l]	PO ₄ ⁻⁻⁻ [mg/l]	BO ₃ ⁻⁻⁻ [mg/l]	I ⁻ [mg/l]	Br ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Summe Kationen [mg/l]	Summe Anionen [mg/l]	Gesamtmine- realisation [mg/l]	Ionen- bilanz [%]	Bemerkungen
Ort 101	N.D.	0.40	<0.17	N.D.	74.6	12.4	398	N.D.	3075.2	3049.3	6124.6	0.4	
Ort 101 N	0.96	0.06	<0.17	N.D.	78.2	56.9	418	N.D.	2962.3	3075.7	6038.0	-1.9	
Ort 101 N	N.D.	0.19	<0.17	N.D.	97.2	36.9	476	N.D.	3296.2	3311.1	6607.3	-0.2	
Ort 202	N.D.	<0.06	0.48	N.D.	77.8	23.0	322	N.D.	3162.8	3191.0	6353.8	-0.4	
Ort 203	9.31	<0.06	2.69	N.D.	83.7	25.9	612	5.6	3238.2	3279.8	6518.0	-0.6	
Ort 300	N.D.	<0.3	N.D.	8.77	88.0	44.0	665	N.D.	3243.1	3384.2	6627.4	-2.1	
Ort 300	0.08	<0.3	N.D.	8.37	75.3	52.1	644	N.D.	3162.9	3333.0	6495.9	-2.6	
Ort 300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3325.4	3343.5	6668.9	-0.3	
Ort 300	0.48	0.76	N.D.	N.D.	53.4	33.2	623	N.D.	3461.0	3330.2	6791.3	1.9	
Ort 300	N.D.	0.70	<0.165	N.D.	122	36.0	648	N.D.	3305.9	3325.3	6631.2	-0.3	
Ort 300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3257.1	3320.1	6577.2	-1.0	
Ort 300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3268.2	3338.3	6606.5	-1.1	
Ort 300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3231.7	3350.7	6582.4	-1.8	
Ort 300	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3277.1	3320.1	6597.2	-0.7	
Ort 300	N.D.	0.75	3.47	N.D.	121	77.2	626	N.D.	3303.5	3355.2	6658.7	-0.8	
Ort 300	0.24	0.33	<0.17	N.D.	80.2	84.0	614	N.D.	3238.5	3350.7	6589.2	-1.7	
Ort 300	<0.001	<0.06	3.30	N.D.	89.0	28.7	664	5.2	3268.1	3291.8	6559.9	-0.4	
Ort 300	0.49	1.01	0.40	4.50	88.7	69.1	729	N.D.	3312.6	3371.9	6684.5	-0.9	
Ort 300	0.32	0.99	0.42	5.05	88.2	62.3	690	N.D.	3279.3	3297.2	6576.4	-0.3	
Ort 300	0.29	1.02	0.44	5.68	89.7	64.7	721	N.D.	3331.9	3381.3	6713.2	-0.7	
Ort 302 A	4.3	<0.06	3.50	N.D.	90.5	28.9	664	N.D.	3292.0	3334.8	6626.8	-0.6	
Ort 302 A Querschlag	<0.001	<0.06	2.66	N.D.	84.7	29.1	678	7.8	3267.9	3307.5	6575.4	-0.6	
Ort 400 A	<0.001	<0.06	2.90	N.D.	87.0	26.0	735	8.9	3428.9	3495.1	6924.1	-1.0	
Ort 410 N	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3207.0	3324.7	6532.5	-1.8	
Ort 410 N	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3212.1	3295.0	6507.1	-1.3	
Ort 410 N	N.D.	1.09	3.66	N.D.	112	73.2	581	N.D.	3265.3	3296.0	6561.3	-0.5	
Ort 410 N	N.D.	0.59	N.D.	N.D.	45.3	17.0	341	N.D.	3293.0	3381.8	6675.6	-1.3	
Ort 410 N	N.D.	0.78	<0.165	N.D.	72.2	30.0	615	N.D.	3256.2	3343.8	6600.0	-1.3	
Brl. 5/96	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3720.0	3855.7	7575.7	-1.8	
Ort 600	N.D.	0.54	<0.165	N.D.	149	40.4	914	N.D.	3762.0	3857.7	7619.6	-1.3	
Ort 601	<0.001	<0.06	3.14	N.D.	102	31.4	936	6.2	3878.4	3922.6	7801.0	-0.6	
Ort 601	0.5	0.32	N.D.	N.D.	64.4	21.7	929	N.D.	3829.2	3815.4	7644.6	0.2	
Ort 601	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3824.6	3855.6	7680.2	-0.4	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	585	N.D.	3775.6	3866.1	7641.7	-1.2	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	145	N.D.	947	N.D.	3829.4	3722.6	7552.0	1.4	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	592	N.D.	3634.6	3748.5	7383.1	-1.5	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	142	N.D.	887	N.D.	3847.6	3732.0	7579.6	1.5	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	137	N.D.	900	N.D.	3741.2	3732.8	7474.0	0.1	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	132	N.D.	843	N.D.	3729.0	3721.1	7450.1	0.1	
Ort 660 A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	824	N.D.	3675.4	3740.2	7415.6	-0.9	
Ort 660 A	N.D.	3.01	<0.165	N.D.	94.3	35.4	861	N.D.	3706.7	3721.5	7428.2	-0.2	
Ort 660 A	0.4	0.48	0.41	6.05	97.9	47.9	924	N.D.	3716.7	3737.8	7454.5	-0.3	
Ort 660 A Brl. 6/1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	129	N.D.	907	N.D.	3696.6	3710.8	7407.4	-0.2	
Ort 660 A Brl. 6/1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	118	N.D.	859	N.D.	3643.9	3761.6	7405.5	-1.6	
Ort 660 A Brl. 6/1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	116	N.D.	845	N.D.	3664.1	3782.4	7446.4	-1.6	
Ort 660 A Brl. 6/1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	116	N.D.	802	N.D.	3710.3	3792.1	7502.4	-1.1	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	120	N.D.	842	N.D.	3644.6	3731.5	7376.1	-1.2	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	122	N.D.	585	N.D.	3660.2	3778.3	7438.5	-1.6	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	115	N.D.	911	N.D.	3680.5	3735.6	7416.2	-0.7	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	120	N.D.	824	N.D.	3703.4	3734.0	7437.4	-0.4	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	900	N.D.	3742.9	3742.0	7484.9	0.0	

Anhang 1e: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Entnahme- datum	Dichte [g/cm ³]	el. Leit- fähigkeit [µS/cm]	Temperatur [°C]	pH-Wert	Redox- potential [mV]	Abdampf- rückstand [mg/l]	Gesamt- rückstand [mg/l]	Nichtkar- bonathärte [°dH]	Karbonat- härte [°dH]	Gesamt- härte [°dH]
Ort 660 A Brl. 6/3	05.12.1983	1.140	162.0	46.3	5.5	+242	N.D.	215084	2593	1.6	2595
Ort 660 A Brl. 6/3	09.12.1983	1.143	141.8	N.D.	5.5	+187	N.D.	212955	2532	1.8	2533
Ort 660 A Brl. 6/3	14.12.1983	1.142	149.3	N.D.	5.4	N.D.	N.D.	214154	2565	2.2	2567
Ort 660 A Brl. 6/3	12.12.1983	1.142	142.1	N.D.	5.8	+184	N.D.	214252	2543	2.6	2545
Ort 660 A Brl. 6/3	29.12.1983	1.141	165.0	46.9	5.3	+239	N.D.	217065	2571	1.0	2572
Ort 660 A Brl. 6/3	06.02.1984	1.133	177.9	45.8	5.0	+285	N.D.	188314	2556	2.2	2558
Ort 660 A Brl. 6/3	09.02.1984	1.130	182.5	47.0	5.0	+286	N.D.	185907	2534	0.7	2535
Ort 660 A Brl. 6/3	19.04.1984	1.132	195.3	45.8	4.9	+283	239700	215752	2301	0.8	2302
Ort 660 A Brl. 6/3	03.06.1984	1.133	185.9	45.2	4.5	+116	238400	208413	1995	0.0	1995
Ort 660 A Brl. 6/3	05.06.1984	1.132	179.9	45.0	5.0	+109	240200	209495	1961	1.1	1962
Ort 660 A Brl. 6/3	02.07.1984	1.135	N.D.	37.3	N.D.	N.D.	232120	211444	2433	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	03.08.1984	1.144	191.5	44.5	4.7	+233	230680	211917	2396	1.6	2397
Ort 660 A Brl. 6/3	03.09.1984	N.D.	N.D.	43.9	N.D.	N.D.	N.D.	216579	2561	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	01.10.1984	1.133	N.D.	43.5	N.D.	N.D.	229560	210570	2357	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	03.04.1985	1.139	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	214281	2618	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	17.08.1985	1.133	170.4	34.4	5.4	+221	220200	209883	2429	3.1	2433
Ort 660 A Brl. 6/3	17.08.1985	1.133	170.4	34.3	5.4	+221	220200	209783	2429	3.1	2433
Ort 660 A Brl. 6/6	06.02.1984	1.135	181.2	44.7	5.1	N.D.	N.D.	186256	2433	0.6	2433
Ort 660 A Brl. 6/6	03.06.1984	1.135	181.2	45.2	4.8	+112	236900	208663	1944	0.3	1944
Ort 660 A Brl. 6/6	05.06.1984	1.136	178.3	44.9	5.3	+97	235200	206622	1943	0.6	1943
Ort 660 A Brl. 6/6	02.07.1984	1.136	N.D.	44.8	N.D.	N.D.	230760	211824	2417	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	03.08.1984	1.142	190.0	39.3	5.0	+233	231600	210357	2365	2.2	2367
Ort 660 A Brl. 6/6	03.09.1984	1.137	N.D.	44.9	N.D.	N.D.	231040	213020	2418	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	01.10.1984	1.124	N.D.	43.5	N.D.	N.D.	228520	208856	2203	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	19.04.1984	1.132	197.2	45.0	5.1	+253	238700	215019	2300	0.7	2301
Ort 660 A Brl. 6/7	19.04.1984	1.133	196.1	39.1	5.1	+271	239400	214913	2396	1.0	2397
Ort 660 A Brl. 6/7	03.06.1984	1.135	179.2	39.8	4.9	+139	239700	210697	1983	0.1	1983
Ort 660 A Brl. 6/7	05.06.1984	1.137	177.0	38.5	5.2	+100	239200	209332	1974	0.9	1975
Ort 660 A Brl. 6/7	02.07.1984	1.132	N.D.	44.6	N.D.	N.D.	236080	215151	2438	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	03.08.1984	1.145	190.0	45.1	4.9	+239	234320	213214	2386	0.4	2387
Ort 660 A Brl. 6/7	03.09.1984	1.136	N.D.	38.9	N.D.	N.D.	232480	213204	2327	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	01.10.1984	1.140	N.D.	35.5	N.D.	N.D.	235320	215226	2314	N.D.	N.D.
Schacht Konrad 2-Hilfswasser	10.06.1987	1.094	138.0	25.2	6.4	-240	166000	159542	935	3.5	938
Meerwasser		1.025					35000				
Versuch 2402/1	10.03.1987	1.165	180.4	36.2	2.9	+337	283700	252720	3021	N.D.	N.D.
Versuch 2402/2	31.03.1987	1.193	0.0	34.2	2.4	+377	340200	304132	3756	1.6	3758
Versuch 2402/3	28.04.1987	1.208	0.0	35.5	2.0	+411	365500	337522	4665	N.D.	N.D.
Versuch 2402/5	11.05.1987	1.209	N.D.	35.2	2.1	+420	376600	331221	4722	N.D.	N.D.
Versuch 2402/6-7	18.05.1987	1.214	N.D.	34.4	1.8	+432	369500	330323	5460	N.D.	N.D.
Versuch 2402/8	09.06.1987	1.220	N.D.	27.3	1.7	+439	378400	339304	7239	N.D.	N.D.
Versuch 2402/9	28.07.1987	1.257	N.D.	30.0	N.D.	N.D.	N.D.	374688	14166	N.D.	N.D.
Versuch 2402/10	28.07.1987	1.214	N.D.	30.2	N.D.	N.D.	N.D.	335624	5891	N.D.	N.D.
Bohrloch 2/15	12.12.1985	1.140	113.5	31.5	6.2	N.D.	232400	213984	1934	5.1	1939
Bohrloch 2/15	17.12.1985	1.138	192.2	32.5	5.6	+299	233600	213464	1924	6.6	1930
Bohrloch 2/15	08.01.1986	1.139	196.3	33.0	5.8	N.D.	216300	213132	1932	6.8	1938
Bohrloch 2/19	08.01.1986	1.126	186.7	34.2	6.4	N.D.	241700	192729	1731	2.9	1734
Bohrloch 2/19	11.05.1987	1.121	141.5	35.2	5.7	N.D.	210000	193543	1874	6.0	1880
Bohrloch 2/19	19.05.1987	1.114	174.3	34.3	5.1	+118	194900	183238	1677	1.9	1679
Brl. 3/137	03.04.1984	1.131	193.0	28.8	6.5	+178	217600	194072	2170	6.2	2176
Brl. 3/138-1	27.04.1984	1.136	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	206387	2339	N.D.	N.D.
Brl. 3/140	03.07.1984	N.D.	N.D.	23.0	8.3	N.D.	201200	123071	N.D.	4.8	N.D.
Ort 402 Ext.-Brl. 2	02.10.1985	1.113	176.3	31.4	6.2	+162	185000	171899	1908	4.7	1913
Ort 601	02.10.1985	1.211	200.0	40.0	5.7	+161	369200	332210	4799	1.5	4801
Ort 610 M	20.03.1986	1.055	N.D.	37.0	N.D.	N.D.	106300	92194	831	9.3	841
Ort 660 A	24.02.1987	1.206	166.0	31.3	5.7	-27	360600	312837	4032	N.D.	N.D.

Anhang 1q: Chemische Analysen der Wässer aus der Grube Konrad (N.D. = nicht bestimmt)

Probe	Cl-	Cl-	Cl-	SO4-	SO4-	SO4-	HCO3-	HCO3-	HCO3-	CO3-	CO2	CO2	Fe++	Mn++	Al+++	Si
	[mg/l]	[meq/l]	[meq-%]	[mg/l]	[meq/l]	[meq-%]	[mg/l]	[meq/l]	[meq-%]	[mg/l]	[mg/l]	[mol/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Ort 660 A Brl. 6/3	131750	3715.44	99.3	671	13.98	0.4	34	0.56	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	130865	3690.50	99.3	671	13.98	0.4	40	0.65	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131542	3709.58	99.3	671	13.98	0.4	47	0.77	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131386	3705.18	99.3	683	14.21	0.4	56	0.92	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	132280	3730.40	99.3	678	14.11	0.4	22	0.37	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	117011	3299.00	99.5	837	17.43	0.5	49	0.80	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	115983	3270.82	99.4	909	18.92	0.6	15	0.25	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131399	3705.56	99.2	920	19.15	0.5	17	0.27	0.0	0	0	0.00	64.50	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	130244	3672.98	99.5	281	5.85	0.2	0	0.01	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	130564	3682.01	99.5	281	5.84	0.2	23	0.37	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	131119	3697.67	99.3	728	15.14	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	64.34	N.D.	0.37	8.70
Ort 660 A Brl. 6/3	131286	3702.38	99.3	703	14.62	0.4	34	0.55	0.0	0	0	0.00	56.49	N.D.	1.11	10.0
Ort 660 A Brl. 6/3	131144	3754.78	99.5	907	18.88	0.5	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	130467	3679.27	99.3	731	15.22	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	61.25	N.D.	N.D.	6.21
Ort 660 A Brl. 6/3	133082	3753.03	99.5	925	19.24	0.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/3	129999	3666.00	99.4	673	14.00	0.4	67	1.10	0.0	0	0	0.00	46.88	2.37	<0.19	<0.38
Ort 660 A Brl. 6/3	129999	3666.00	99.4	673	14.00	0.4	67	1.10	0.0	0	165	3.74	46.88	2.37	<0.19	<0.38
Ort 660 A Brl. 6/6	116229	3277.75	99.5	831	17.30	0.5	14	0.23	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	131487	3708.02	99.5	279	5.80	0.2	7	0.12	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	129453	3650.68	99.5	285	5.93	0.2	14	0.23	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	131318	3703.27	99.3	741	15.43	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	36.0	N.D.	0.28	8.19
Ort 660 A Brl. 6/6	130490	3679.92	99.3	724	15.07	0.4	49	0.79	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/6	131772	3716.07	99.3	767	15.96	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	34.4	N.D.	N.D.	6.84
Ort 660 A Brl. 6/6	130155	3670.48	99.3	684	14.23	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	33.9	N.D.	N.D.	5.23
Ort 660 A Brl. 6/6	130691	3685.59	99.2	883	18.38	0.5	15	0.25	0.0	0	0	0.00	36.5	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	132594	3739.26	99.3	769	16.00	0.4	21	0.35	0.0	0	0	0.00	40.7	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	131479	3707.81	99.5	297	6.18	0.2	2	0.03	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	131120	3697.69	99.5	297	6.18	0.2	20	0.33	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	132055	3724.06	99.3	770	16.03	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	39.3	N.D.	0.51	9.84
Ort 660 A Brl. 6/7	132794	3744.90	99.3	748	15.57	0.4	9	0.16	0.0	0	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 660 A Brl. 6/7	132396	3733.66	99.3	753	15.68	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	42.7	N.D.	N.D.	6.58
Ort 660 A Brl. 6/7	133871	3775.25	99.3	724	15.07	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	30.1	N.D.	N.D.	5.79
Schacht Konrad 2-Hils	98374	2774.22	99.7	285	5.93	0.2	77	1.26	0.0	0	0	0.00	0.07	<0.06	0.63	2.85
Moerwasser	18900	532.99	90.1	2650	55.16	9.3	139	2.28	0.4	N.D.	N.D.	N.D.	0.003	0.0004	0.001	2.8
Versuch 2402/1	155613	4388.41	99.3	722	15.02	0.3	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	150	<0.06	11.3	7.95
Versuch 2402/2	184834	5212.48	99.2	1187	24.70	0.5	35	0.58	0.0	N.D.	0	0.00	331	25.6	0.34	32.9
Versuch 2402/3	205071	5783.15	99.3	898	18.70	0.3	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	400	30.4	0.24	33.7
Versuch 2402/5	203596	5741.57	99.5	423	8.80	0.2	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	232	7.67	0.82	6.13
Versuch 2402/6-7	209618	5911.40	99.3	345	7.18	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	316	11.0	11.6	5.50
Versuch 2402/8	210865	5946.56	99.3	267	5.56	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	397	10.4	15.0	7.08
Versuch 2402/9	238978	6739.37	98.9	344	7.16	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	235	12.0	19.0	5.88
Versuch 2402/10	208214	5871.81	99.4	325	6.76	0.1	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	199	9.95	10.5	6.87
Bohrloch 2/15	132074	3724.60	99.2	1154	24.02	0.6	110	1.80	0.0	0	0	0.00	<0.41	8.77	1.45	3.79
Bohrloch 2/15	131640	3712.36	99.2	1176	24.48	0.7	143	2.34	0.1	0	0	0.00	<0.41	9.13	1.87	4.04
Bohrloch 2/15	129112	3641.05	99.2	1129	23.49	0.6	149	2.44	0.1	0	0	0.00	<0.41	9.16	<0.19	4.59
Bohrloch 2/19	117872	3324.09	99.0	1268	26.40	0.8	62	1.02	0.0	0	0	0.00	<0.41	2.72	0.66	5.32
Bohrloch 2/19	118224	3334.01	99.0	1215	25.28	0.8	131	2.15	0.1	0	0	0.00	44.9	4.64	6.49	6.15
Bohrloch 2/19	112059	3160.15	98.9	1314	27.35	0.9	40	0.66	0.0	0	0	0.00	36.2	3.70	3.54	4.52
Brl. 3/137	118812	3350.58	99.2	884	18.41	0.5	134	2.20	0.1	0	0	0.00	16.2	N.D.	N.D.	N.D.
Brl. 3/138-1	126842	3577.04	99.4	1118	23.28	0.6	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	0.72	0.88	2.26	10.4
Brl. 3/140	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	105	1.71	100.0	N.D.	0	0.00	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ort 402 Ext.-Brl. 2	105148	2965.25	98.8	1318	27.43	0.9	102	1.68	0.1	0	0	0.00	20.06	10.2	<0.18	3.10
Ort 601	205057	5782.78	99.5	388	8.08	0.1	32	0.52	0.0	0	0	0.00	0.86	5.41	<0.18	8.18
Ort 610 N	54218	1528.99	96.5	2264	47.13	3.0	202	3.31	0.2	0	0	0.00	<0.41	<0.06	3.33	5.84
Ort 660 A	192932	5440.83	99.5	433	9.01	0.2	N.D.	N.D.	N.D.	0	0	0.00	25.2	<0.06	14.5	8.80

Probe	Zn ⁺⁺ [mg/l]	Ba ⁺⁺ [mg/l]	Rb ⁺ [mg/l]	PO ₄ ⁻⁻⁻ [mg/l]	BO ₃ ⁻⁻⁻ [mg/l]	I ⁻ [mg/l]	Br ⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	Summe Kationen [meq/l]	Summe Anionen [meq/l]	Gesamtmineralisation [mg/l]	Ionen- bilanz [%]	Bemerkungen
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	873	N.D.	3749.1	3748.9	7490.0	0.1	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	867	N.D.	3681.8	3716.0	7397.7	-0.5	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	876	N.D.	3708.7	3735.3	7444.0	-0.4	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	889	N.D.	3714.6	3731.4	7446.0	-0.2	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	870	N.D.	3803.9	3755.8	7559.7	0.6	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3251.0	3318.0	6569.0	-1.0	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3188.1	3290.0	6478.1	-1.6	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	135	37.0	903	N.D.	3743.8	3736.6	7480.4	0.1	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	41.2	887	N.D.	3505.5	3690.3	7195.8	-2.6	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	44.0	889	N.D.	3535.3	3699.7	7235.0	-2.3	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	<0.3	N.D.	8.80	105	38.5	881	N.D.	3586.4	3724.4	7310.8	-1.9	
Ort 660 A Brl. 6/3	0.47	0.14	N.D.	6.26	97.5	39.8	879	N.D.	3600.5	3729.1	7329.6	-1.8	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3778.6	3773.7	7552.3	0.1	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	<0.3	N.D.	8.49	97.6	59.3	856	N.D.	3571.4	3705.9	7277.4	-1.8	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3683.7	3772.3	7456.0	-1.2	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	<0.06	<0.17	N.D.	68.5	13.3	431	N.D.	3592.2	3686.7	7278.9	-1.3	
Ort 660 A Brl. 6/3	N.D.	<0.06	<0.17	N.D.	68.5	13.3	431	N.D.	3587.8	3686.7	7274.5	-1.4	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3187.8	3295.3	6483.1	-1.7	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	41.9	887	N.D.	3458.0	3725.4	7183.4	-3.7	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	40.4	888	N.D.	3457.2	3668.3	7125.5	-3.0	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	<0.30	N.D.	8.80	108	39.6	880	N.D.	3591.9	3730.3	7322.2	-1.9	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	37.9	868	N.D.	3576.2	3706.9	7283.1	-1.8	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	<0.30	N.D.	8.68	107	59.3	856	N.D.	3623.2	3743.5	7366.7	-1.6	
Ort 660 A Brl. 6/6	<0.04	<0.30	N.D.	8.28	95.4	60.6	1006	N.D.	3495.5	3698.0	7193.6	-2.8	
Ort 660 A Brl. 6/6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	109	40.0	898	N.D.	3743.0	3715.8	7458.8	0.4	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	104	31.1	917	N.D.	3675.2	3767.3	7442.6	-1.2	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	43.4	894	N.D.	3549.0	3725.5	7274.5	-2.4	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	39.8	903	N.D.	3503.5	3715.8	7219.3	-2.9	
Ort 660 A Brl. 6/7	<0.04	<0.01	N.D.	8.06	110	41.2	886	N.D.	3704.1	3751.8	7455.9	-0.6	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	39.3	881	N.D.	3602.4	3772.0	7374.4	-2.3	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	<0.30	N.D.	8.59	106	55.0	871	N.D.	3599.4	3761.0	7360.3	-2.2	
Ort 660 A Brl. 6/7	N.D.	<0.30	N.D.	8.59	101	64.7	880	N.D.	3621.3	3802.1	7423.4	-2.4	
Schacht Konrad 2-Hills Muerwasser	0.35	2.08	0.69	5.95	55.1	14.7	157	N.D.	2697.0	2783.7	5480.7	-1.6	
	0.005	0.02	0.12	N.D.	23.6	0.06	65.7	N.D.	591.5	591.3	1182.7	0.0	
Versuch 2402/1	<0.001	0.06	3.09	N.D.	113	36.1	1100	N.D.	4348.1	4417.5	8765.6	-0.8	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/2	0.71	0.42	3.02	N.D.	445	56.6	1258	N.D.	5285.1	5253.9	10539.0	0.3	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/3	0.72	0.45	3.43	N.D.	569	64.3	1560	N.D.	5907.0	5821.9	11728.9	0.7	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/5	0.78	0.68	0.72	7.34	173	49.5	1742	N.D.	5779.6	5772.8	11552.4	0.1	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/6-7	0.72	0.71	0.59	5.46	238	90.7	2533	N.D.	5523.6	5951.2	11474.8	-3.7	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/8	0.83	0.75	0.62	8.70	238	99.0	2648	N.D.	5951.5	5986.3	11937.8	-0.3	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/9	0.45	0.54	0.39	7.91	214	92.8	5545	N.D.	6665.8	6816.9	13482.7	-1.1	Eindampfungsversuch
Versuch 2402/10	0.65	0.75	0.65	0.62	210	77.7	2108	N.D.	5856.7	5905.8	11762.6	-0.4	Eindampfungsversuch
Bohrloch 2/15	N.D.	<0.06	0.05	N.D.	64.5	18.2	388	N.D.	3635.0	3755.4	7390.4	-1.6	11.2 TU
Bohrloch 2/15	N.D.	1.32	0.53	N.D.	66.2	17.7	378	N.D.	3628.3	3744.1	7372.3	-1.6	11.2 TU
Bohrloch 2/15	N.D.	3.56	0.58	N.D.	71.6	18.1	378	N.D.	3722.7	3671.9	7394.6	0.7	11.2 TU
Bohrloch 2/19	N.D.	<0.56	0.82	N.D.	63.1	20.5	395	N.D.	3304.0	3356.6	6660.6	-0.8	6.7 bis 9 TU
Bohrloch 2/19	0.57	0.71	0.45	3.46	87.7	25.9	599	N.D.	3323.3	3369.3	6692.6	-0.7	6.7 bis 9 TU
Bohrloch 2/19	0.57	0.80	0.42	4.95	95.1	21.8	524	N.D.	3133.8	3195.0	6328.8	-1.0	6.7 bis 9 TU
Brl. 3/137	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	82.1	33.5	535	N.D.	3354.2	3378.1	6732.3	-0.4	
Brl. 3/138-1	N.D.	0.52	<0.17	N.D.	116	N.D.	N.D.	N.D.	3569.7	3600.3	7170.1	-0.4	Lösungsinhalt erhöht
Brl. 3/140	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.0	1.7	1.7	-100.0	nur Kationen bestimmt
Ort 402 Ext.-Brl. 2	N.D.	0.11	<0.165	N.D.	95.3	23.0	567	N.D.	2950.0	3001.6	5951.6	-1.9	10.7 TU
Ort 601	N.D.	<0.06	<0.165	N.D.	202	72.7	1763	N.D.	5762.6	5814.1	11576.7	-0.4	Lösungsinhalt erhöht
Ort 610 N	<0.001	0.06	2.88	N.D.	118	11.8	385	5.8	1578.5	1584.4	3162.9	-0.2	Lösungsinhalt erniedrigt
Ort 660 A	<0.001	<0.06	2.91	N.D.	190	47.4	1530	9.9	5411.2	5469.5	10880.7	-0.5	Lösungsinhalt erhöht

ANHANG 2

[REDACTED] (1988): Bericht über Isotopenuntersuchungen an
[REDACTED] der Grube Konrad. - 7 S., unveröff. Ber.,
BGR, Arch.-Nr. 104 433, Hannover.



100/10

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Bericht über

Isotopenanalysen an Proben der Grube Konrad

- | | |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Sachbearbeiter: |  |
| 2. Auftraggeber: |  |
| 3. Datum: | 31.5.1988 |
| 4. B 4.33 Archiv - Nr.: | 88 0021 ¹ |
| 5. Abteilungs - Nr.: | 39 809 |

¹ ata ber_88_2 konrad.doc

PROBEN

Drei Sedimente und vier Gase wurden zur Untersuchung eingeliefert. Die Proben stammen aus Cornbrash-Bohrungen in der Grube Konrad.

Folgende Untersuchungen sollten durchgeführt werden:

- Bestimmung der Zusammensetzung und der Isotopenverhältnisse der einzelnen Kohlenwasserstoff (KW) Komponenten C₁ bis C₃ der eingelieferten Gase.
- Bestimmung der Menge und Zusammensetzung der in den Sedimenten enthaltenen Kohlenwasserstoffe und die Isotopenverhältnisse der einzelnen Komponenten C₁ bis C₃.

Untersuchungsmethoden

Die Sedimente wurden durch die Einwirkung von Phosphorsäure in einer Vakuumapparatur entgast. Die Menge der desorbierten Gase wurden gaschromatographisch bestimmt. Ihre Konzentrationen (oder Ausbeuten) in den Sedimenten werden in ppb ($\text{g}_{\text{gas}}/\text{g}_{\text{sediment}} \cdot 10^9$; Yield) angegeben.

Die Zusammensetzung der eingelieferten und auch der aus den Sedimenten desorbierten Gase wurden gaschromatographisch bestimmt. Die Isotopenwerte der verschiedenen Homologe wurden nach ihrer Abtrennung aus dem Gasgemisch, der anschließenden online-Oxidation sowie Reduktion des Verbrennungswassers massenspektrometrisch bestimmt (s. auch Anhang Untersuchungsmethoden).

ERGEBNIS

Die Ergebnisse sind in den Tabellen und Abbildungen des Anhanges dargestellt. Mit Ausnahme der Probe KW Nr. 110055 enthalten die eingelieferten Gase Stickstoff ($\leq 78.6\%$), Sauerstoff ($\leq 17\%$) und Methan ($\leq 3.7\%$). Kohlendioxid und die höheren Kohlenwasserstoffe sind nur in Spuren vertreten. Das Gas KW Nr. 110055 enthält nur ca. 18 % Stickstoff² und Sauerstoff, 2.6 % Kohlendioxid, jedoch 78.2 % Methan und immerhin noch 1 % Äthan. Die anderen höheren Kohlenwasserstoffe sind ebenfalls nur in Spuren ($< 0.1\%$) vertreten. Der Grund für diesen Unterschied zwischen den genannten Proben ist nicht bekannt. Die Kohlenwasserstoffe dieser Gase sind damit alle reich an Methan ($0.981 < C_1/\Sigma C_n < 0.985$).

² Aus technischen Gründen war die Einzelbestimmung von Stickstoff und Sauerstoff sowie die Messung der Deuteriumkonzentration des Methans nicht möglich.

Die Kohlenwasserstoff Ausbeuten in den Sedimenten sind mit Methanwerten zwischen 285 und 1862 ppb relativ hoch im Vergleich zu vielen anderen Proben und liegen deutlich über dem Background-level (ca. 50 ppb). In den Proben KW Nr. 110029 und 110031 dominiert deutlich das Methan ($C_1/IC_2=0.91$), dagegen sind in der Probe KW Nr. 110030 die höheren KW stärker vertreten ($C_1/IC_2=0.852$). Bemerkenswert in dieser Probe sind die relativ hohen Anteile der ungesättigten Komponenten Äthen und Propen.

KOMMENTAR

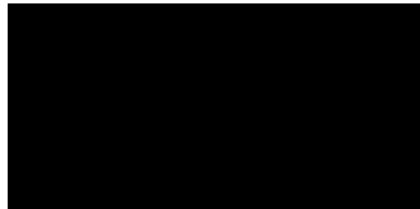
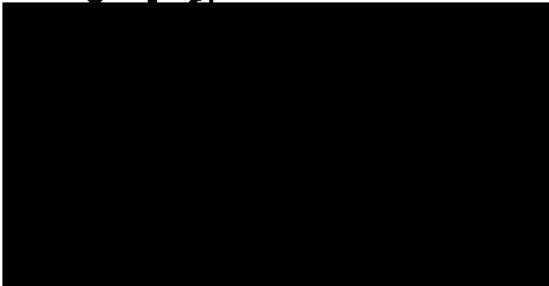
Die Proben sind mit Ausnahme einer Sedimentprobe (KW Nr. 110030) relativ reich an Methan; der Vergleich der Gaszusammensetzung mit den Methan Kohlenstoff Isotopenwerte (Abb. 1) zeigt deutlich, daß die KW nicht nur thermische entstanden sind, sondern als Mischgase mit thermischen und bakteriellen Komponenten anzusehen sind (die eine Probe im Bereich des Ölfensters (KW Nr. 110030) wird gesondert diskutiert). Dieses wird auch deutlich durch die Vergleiche der Methan Kohlenstoff- und Wasserstoff Isotopenwerte (Abb. 2) und Methan und Äthan Kohlenstoff Isotopenwerte (Abb. 3). Wegen des Mischungscharakters der Kohlenwasserstoff Gase ist eine Abschätzung der Reifestufe des Muttergesteins der thermischen Mischungskomponente aus Abb. 3 nicht möglich.

Die Sedimentprobe KW Nr. 110030 war aufgefallen durch vergleichsweise hohe C_2+ -Anteile, hohe Gehalte ungesättigter Komponenten und hohe ^{13}C -Anteile. Aus Abb. 2 wird ersichtlich, daß die 2H -Gehalte ebenfalls vergleichsweise hoch sind und Abb. 4 zeigt relativ hohe ^{13}C -Anteile im Äthan und Propan. Derartige Daten wurden bei Gasen gefunden, die Anteile von Kohlenwasserstoffen enthielten, deren Entstehung auf bisher nicht genau bekannte Prozesse bei hoher mechanischer und thermischer Beanspruchung beim Bohren zurückgeführt wird. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß Probe KW Nr. 110030 ebenfalls Anteile dieser Gasart enthält; diese Probe ist deshalb nicht in die weitere Diskussion eingeschlossen.

Mit Ausnahme der Gaszusammensetzung (Abb. 1) sind die Daten der Gas und Sedimentproben sehr einheitlich und zeigen den gemischten thermischen und bakteriellen Charakter der Gase auf. Die Komponenten Äthan und Propan sind nicht durch bakterielle Entstehung beeinflusst; aus ihren Isotopendaten läßt sich deshalb am besten auf die Reife des Muttergesteins der thermischen KW-Anteile schließen. Aus der Abb. 4 läßt sich der entsprechende Reifebereich abschätzen: $0.7 \% \leq R_o \leq 0.9 \%$. Aus diesen geochemischen Daten allein kann nicht abgeleitet werden, ob die thermischen Kohlenwasserstoffe im Cornbrash entstanden sind; hierzu muß ein Vergleich der "geochemischen" Reifedaten mit optischen Reifewerten des Cornbrash vorgenommen werden.

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Sachbearbeiter:



A N L A G E N

Tabellen: Ergebnisse der Laboruntersuchungen.

- Abb. 1: Methan Kohlenstoff Isotopenwerte im Vergleich mit der KW-Gaszusammensetzung der Gase.
- Abb. 2: Vergleich der Methan Kohlenstoff und Wasserstoff Isotopenwerte.
- Abb. 3: Vergleich der Methan- und Athan Kohlenstoff Isotopenwerte.
- Abb. 4: Vergleich der Athan- und Propan Kohlenstoff Isotopenwerte.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Grube Konrad (Gase)

KW-Nr.	Probe		N2%	O2%	CO2%	CH4%	C2H6%	C3H8%	i-C4%	n-C4%
110055	KONRAD 3/150	10.10.87		18.0	2.6	78.2	1.0	0.1	<0.1	<0.1
110026	CORNBRASH BHG.	30.11.87	78.6	17.6	<0.1	3.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
110027	CORNBRASH BHG.	30.11.87	79.1	17.0	<0.1	3.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
110028	CORNBRASH BHG.	30.11.87	78.6	17.1	<0.1	4.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

KW-Nr.	Probe		C1 SumCn	C2/C1	C1/ C2+C3	$\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}C_3$	$\delta^{13}CO_2$	δD_1
110055	KONRAD 3/150	10.10.87	0.985	0.013	68	-54.0	-34.1	-32.2	-16.3	—
110026	CORNBRASH BHG.	30.11.87	0.981	0.015	54	-54.2	-35.0	-32.1	+0.1	-251
110027	CORNBRASH BHG.	30.11.87	0.981	0.015	55	-54.4	-35.0	-32.5	+3.0	-248
110028	CORNBRASH BHG.	30.11.87	0.981	0.015	54	-54.1	-34.6	-32.3	-2.1	-247

Grube Konrad Sedimente

KW-Nr.	Probe		CH4%	C2H4%	C3H6%	C2H6%	C3H8%	I-C4%	N-C4%	I-C5%	N-C5%
110029	3/150	26.6 m	91.0	0.1	0.0	4.4	2.3	0.8	0.7	0.5	0.3
110030	3/150	30.8 m	83.4	1.5	0.6	7.0	3.1	1.1	1.3	1.2	0.7
110031	3/150	39.9 m	90.9	0.1	0.0	4.4	2.0	0.9	0.7	0.7	0.3

KW-Nr.	Probe		Yield C-1	Yield C-2	Yield C-3	Yield C-2	Yield C-3	Yield i-C4	Yield n-C4	Yield i-C5	Yield n-C5
110029	3/150	26.6 m	1862	2	0	170	126	60	50	43	23
110030	3/150	30.8 m	285	9	5	44	29	13	16	18	11
110031	3/150	39.9 m	867	1	0	79	52	30	23	30	13

KW-Nr.	Probe		C1/ SumCn	C2/C1	i/n C4	i/n C5	C1/ C2+C3	$\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}C_3$	δD_1
110029	3/150	26.6 m	0.911	0.049	1.206	1.808	13	-54.3	-34.0	-33.1	-248
110030	3/150	30.8 m	0.852	0.084	0.842	1.608	8	-44.1	-28.9	-26.6	-378
110031	3/150	39.9 m	0.910	0.049	1.294	2.323	14	-53.9	-33.3	-30.5	-251

Untersuchungsverfahren Gasanalytik

Analysenverfahren zur Bestimmung der Gaszusammensetzung und der Isotopenverhältnisse von Gasproben:

- Gaszusammensetzung (analytische GC). Die erfaßten Komponenten sind: N₂, O₂, CO₂; Kohlenwasserstoffe (C₁-C₅)
- präparative Gaschromatographie (Separation von Gaskomponenten aus der Probe)
- Oxidation vorher separierter Komponenten
- Reduktion des Oxidationswassers zu H₂
- massenspektrometrische Bestimmung von ¹³C/¹²C-Werten
- massenspektrometrische Bestimmung von D/H-Werten

Die Verhältnisse der stabilen Isotope werden in der üblichen Weise als δ-Werte

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{Probe}}}{R_{\text{Standard}}} - 1 \right) * 1000 \quad (\text{o/oo})$$

angegeben, wobei R den Verhältnissen ¹³C/¹²C bzw. D/H entspricht und sich auf den PDB bzw. SMOW-Standard bezieht.

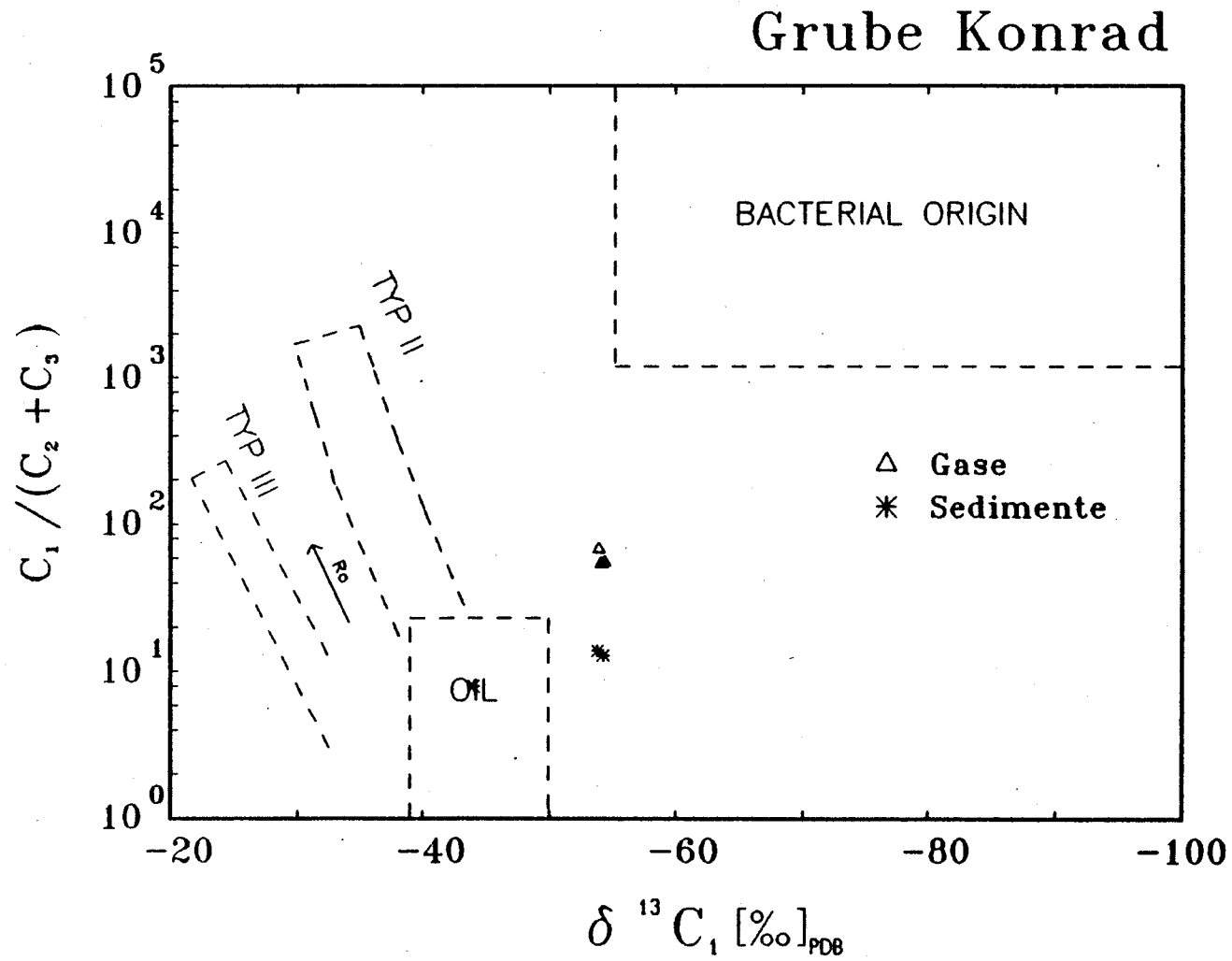
Folgende Meßgenauigkeiten werden in den Routinemeßverfahren erreicht:

Komponente	Genauigkeit (+/- o/oo)	Gasmenge (µl)
δ ¹³ C-CO ₂	0.2	> 100*
δ ¹³ C-CH ₄	0.2	> 100*
δ ¹³ C-C ₂ H ₆	0.2	> 100*
δ ¹³ C-C ₃ H ₈	0.2	> 100*
δD-CH ₄	ca. 3-7	(je nach Gasmenge, Mindestmenge CH ₄ = 50 µl)

* Die Meßgenauigkeiten verringern sich mit abnehmenden Gasmengen.

(Stand: 1988)

Abb. 1



Grube Konrad

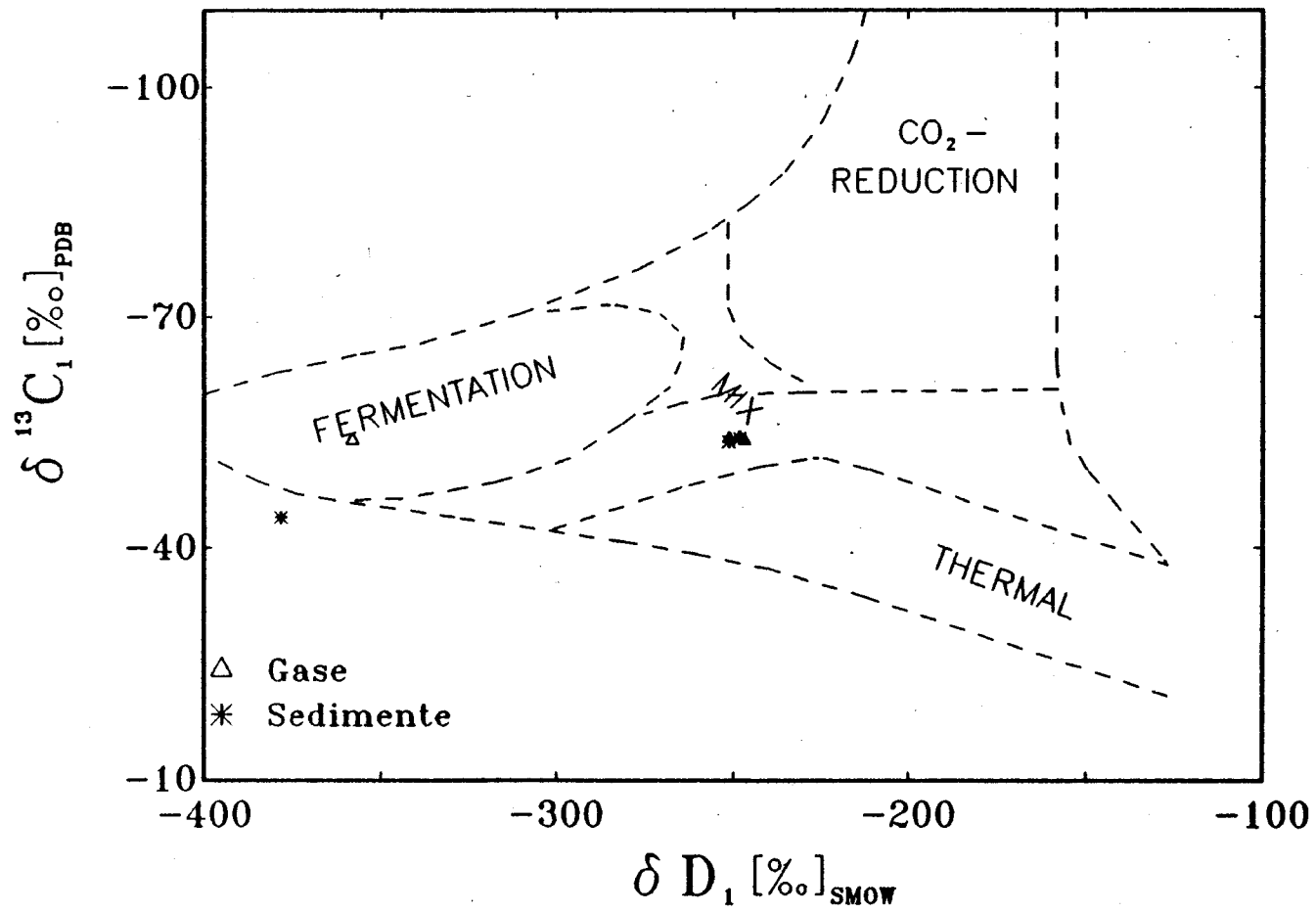


Abb. 2

Grube Konrad

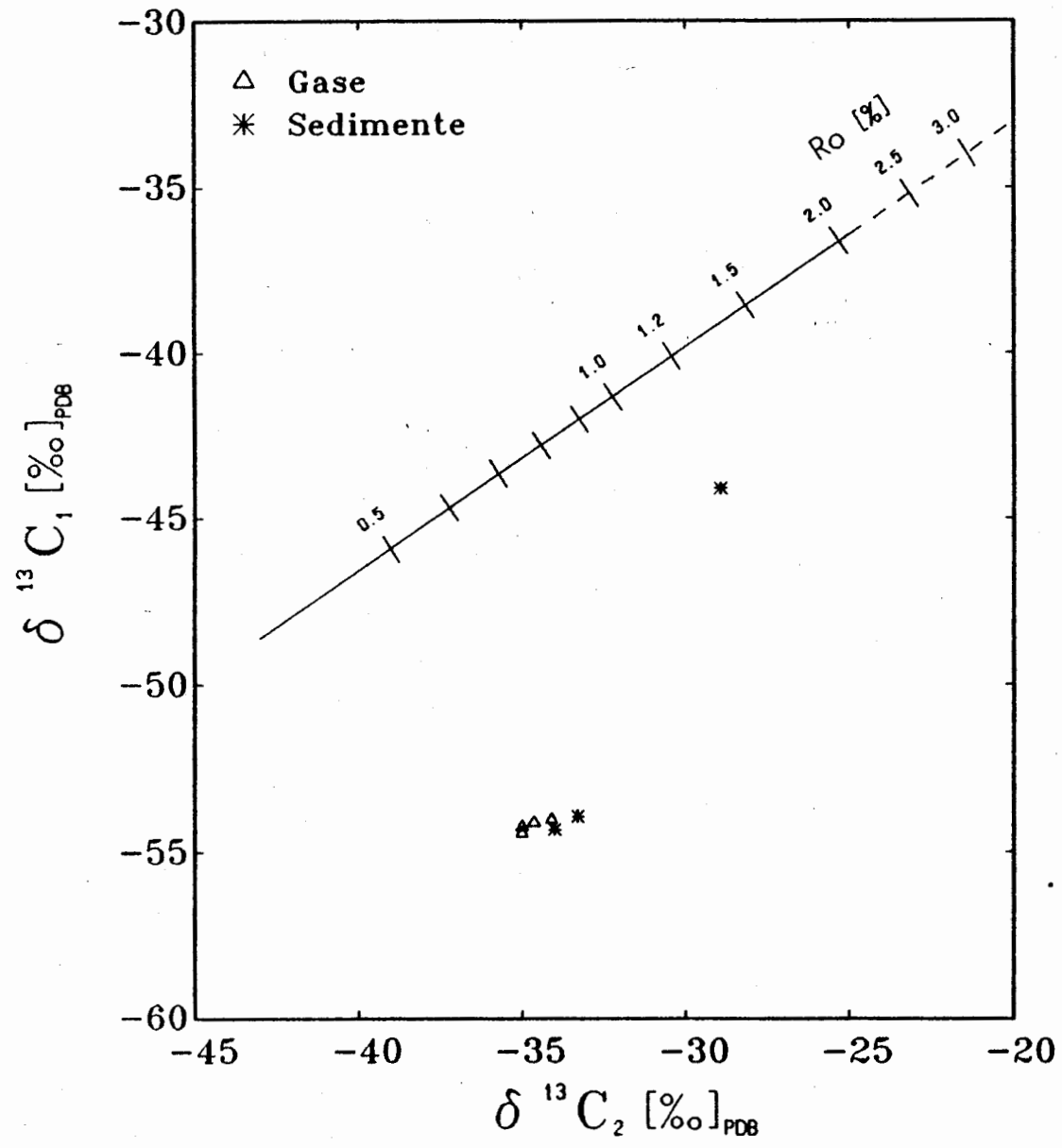


Abb. 3

Grube Konrad

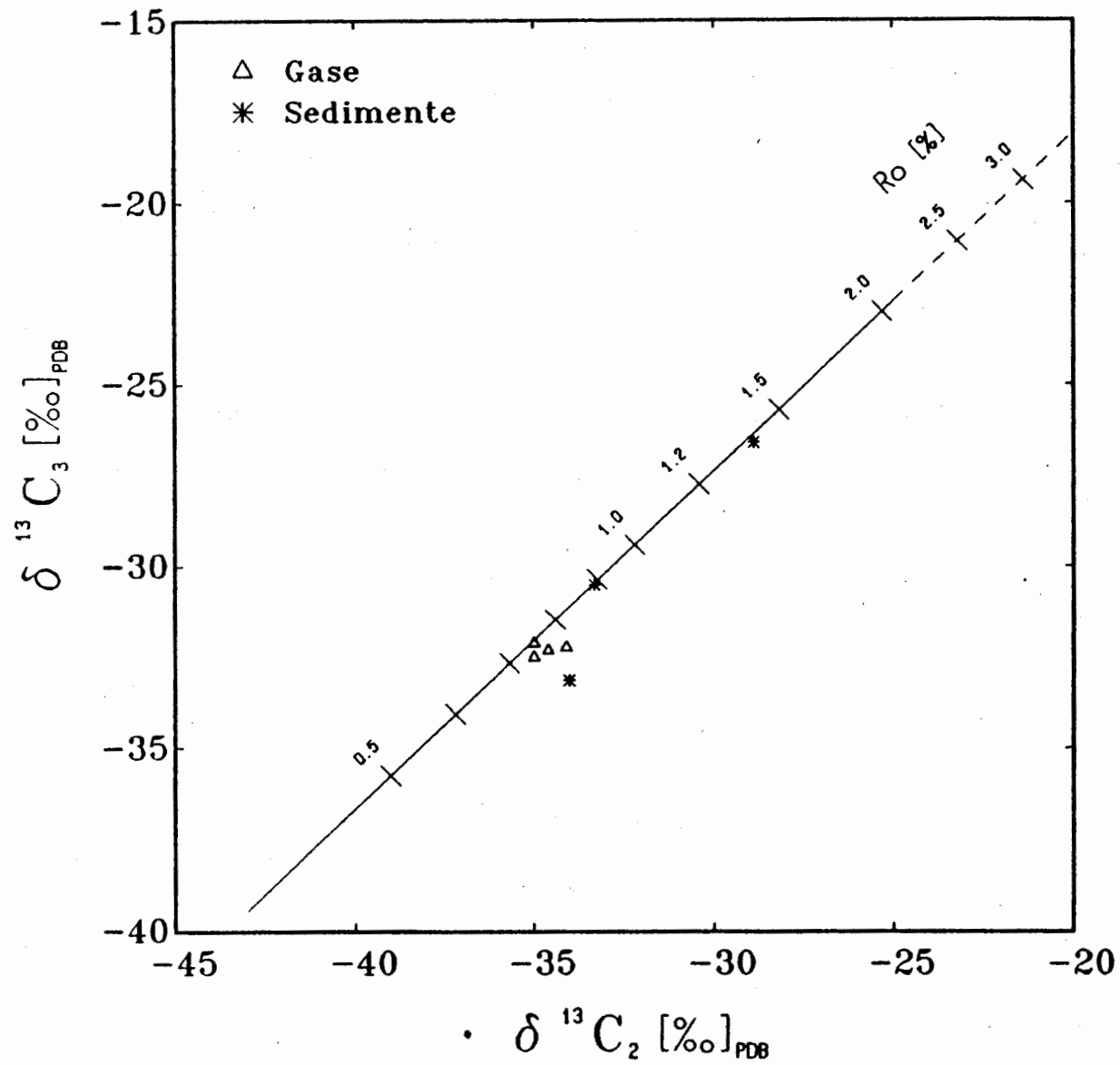


Abb. 4